

早稲田大学審査学位論文
博士(スポーツ科学)

ローラースピードスケート競技における
カーブ滑走動作のバイオメカニクス的研究

The Biomechanical Analysis of Curve Skating in
Roller Speed Skating

2020 年 1 月
早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

岡部 文武

OKABE, Fumitake

研究指導教員： 土屋 純 教授

目次

第1章 緒言	1
第1節 ローラースピードスケート競技の概要	1
第2節 日本におけるローラースピードスケート競技の指導の課題点と解決方策	5
第3節 スピードスケート競技に関するバイオメカニクス的研究概観	7
第4節 問題の所在	14
第5節 本研究の目的	15
第2章 ローラースピードスケート競技 300m タイムトライアル種目における世界一流選手の レースの特徴	16
第1節 緒言	16
第2節 方法	17
第3節 結果	21
第4節 考察	23
第5節 結論	27
第3章 国内ローラースピードスケート選手のフラットトラックにおけるカーブ滑走動作のキ ネマティクスの特徴	28
第1節 緒言	28
第2節 方法	29
第3節 結果	32
第4節 考察	36
第5節 結論	41
第4章 ローラースピードスケート競技 300m タイムトライアル種目における優れたカーブ滑 走動作のキネマティクスの特徴	42
第1節 緒言	42
第2節 方法	43
第3節 結果	47
第4節 考察	51

第 5 節 結論	54
第 5 章 ローラースピードスケート競技バンクトラックにおける日本人選手のカーブ滑走動作 のキネマティクスの特徴.....	55
第 1 節 本研究の目的.....	55
第 2 節 方法	56
第 3 節 結果	60
第 4 節 考察	65
第 5 節 結論	69
第 6 章 総括論議.....	70
第 7 章 結論	74
文献.....	76

第1章 緒言

第1節 ローラースピードスケート競技の概要

ローラースピードスケート競技は、靴底にポリウレタン製のタイヤ(以下、「ウイール」とする)が一行に並んだインラインスケート(図 1.1)を用いて、決められた競技コースを滑走し、滑走時間や着順、競技中に獲得した得点数を競う競技である。競技大会で使用できるウイールは国際規則で定められており、国際規則では、一足のインラインスケートに最大5つのウイールを装着することができるが、ウイールの最大直径が 110mm 以下であることに加え、装着した複数個のウイールの先端から後端までの長さが 50cm 以下とされている(図 1.1, WORLD SKATE, 2018)。

ローラースピードスケート競技は、カーブ区間の滑走路が傾斜した 1 周 200m バンクトラックで実施されるトラック種目と 1 周 400-600m の周回走路で実施されるロード種目の 2 種目で構成される。国際大会で使用される競技コースの規格は国際規則で定められており、トラック種目ではストレート区間 57.84m, カーブ区間 42.16m, 最大傾斜角度 8.27deg., 滑走路幅 6.00m のバンクトラックと定められている(図 1.2)。一方、ロード種目では 1 周 400-600m, 滑走路幅 8m という条件に加えて、競技コース長の 60%をストレート区間とする周回走路と定められているものの、競技コースの形状は定められていない(WORLD SKATE, 2019)。

また、国際規則では 7 つの競技形式が定められているが(表 1.1)、滑走する距離によって採用される競技形式は異なっている(WORLD SKATE, 2018)。これらの競技形式は、指定された距離の滑走時間を競う競技形式(タイムトライアル, デュアル・タイムトライアル), 滑走着順を競う競技形式(スプリント・トーナメント, エリミネーション, リレー, マラソン)および指定された距離を滑走する間に獲得した得点の合計点を競う競技形式(ポイント, ポイント・エリミネーション)に分類することができる。滑走時間および滑走着順を競う競技形式では、短時間で指定された距離を滑走することが要求される。一方、獲得した得点の合計点を競う競技形式では、指定された周回において短時間でフィニッシュラインを通過する回数を多くすることが要求される。これらの競技形式では勝敗の決し方が異なるものの、優れた競技成績を獲得するには指定された距離を誰よりも早く滑走する必要がある。そのため、滑走時間を短縮するためには高い滑走速度を獲得する必要がある。以上のこと

から、ローラースピードスケート競技では競技形式に関わらず、高い速度で滑走することが優れた競技成績を獲得するうえで重要といえる。



図 1.1 インラインスケート

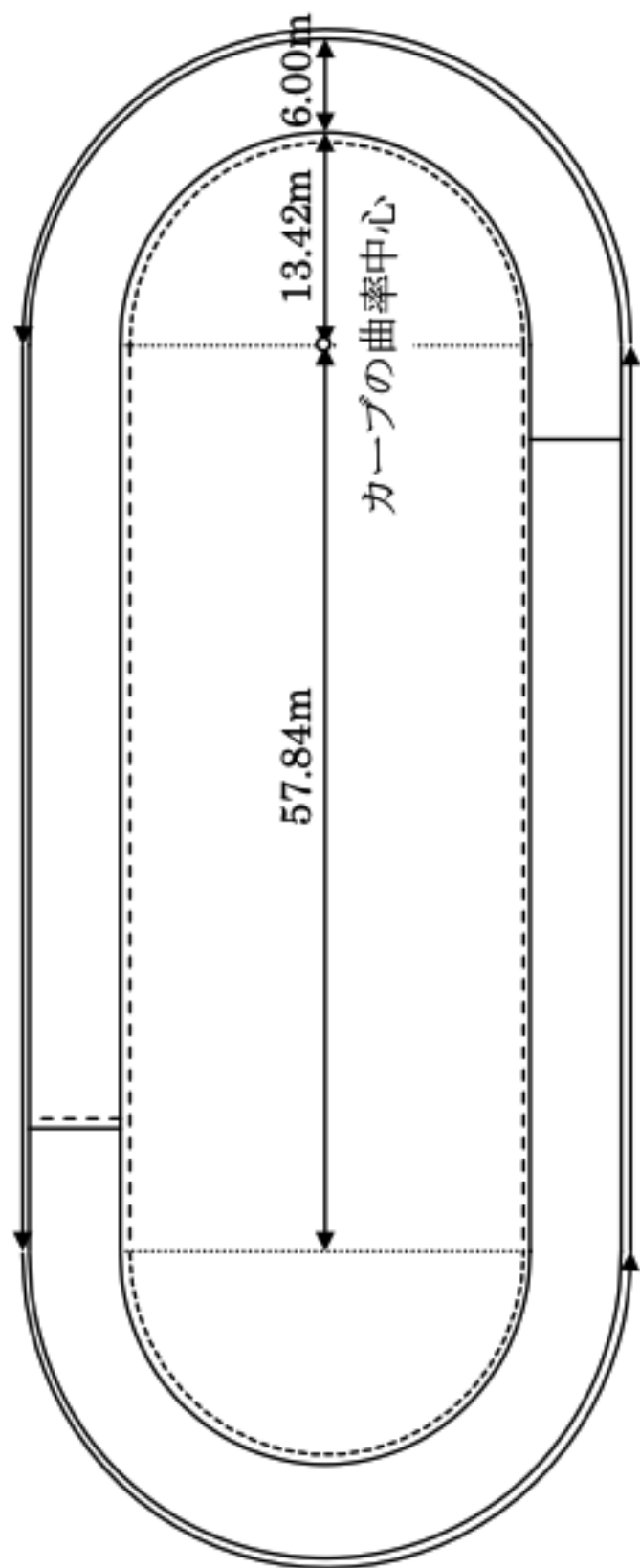


図 1.2 ローラースケート競技におけるバスケトラック

表 1.1 ローラースピードスケート競技における競技形式

競技形式	トラック	ロード	形式説明
タイムトライアル	○		指定された距離の滑走時間を競う。
デュアル・タイムトライアル	○		2名の選手で指定された距離の滑走時間を競う。選手は対角線上に設置されたスタートラインからスタートする。
スプリント・トーナメント	○	○	1組4-8名の選手が1斉に滑走し、各組上位2名の選手が勝ち進み、決勝に進出した選手で着順を競う。
ポイント		○	複数名の選手が1斉に滑走し、指定された周回で上位2名までの選手に付与される得点の合計点を競う。
エリミネーション	○	○	複数名の選手が1斉に滑走し、指定された周回で最後尾を滑走する選手が逐一除外され、残された選手で着順を競う。
ポイント・エリミネーション	○		複数名の選手が1斉に滑走し、得点付与と選手除外が交互に実施され、残された選手で獲得した得点の合計点を競う。
リレー	○		指定された距離を3名で交代しながら滑走し、着順を競う。
マラソン		○	複数名の選手が1斉に滑走し、42.195kmの滑走時間を競う。

第2節 日本におけるローラースピードスケート競技の指導の課題点と解決方策

すべての競技において、選手は競技成績を向上させるために様々なトレーニングを実施する。トレーニングを論じるためには競技特性を理解し、運動課題を達成するために必要な体力と運動技術を適切に把握する必要がある。指導現場において指導者や選手は、トレーニングを体力の強化を目的とした体力トレーニングと、運動技術の習得・習熟を目的とした技術トレーニングに分けて考えることが多い。しかし、その競技において要求される体力は運動技術と密接に関係する(佐野, 1985)。そのため、競技成績を向上させるトレーニングを構築するためには、その競技における運動技術を明らかにする必要があるといえる。

運動技術とは、その競技における運動課題を達成するために必要な合理的かつ公共的な身体の動かし方である(マイネル, 1981)。運動技術は、バイオメカニクスや運動生理学的手法により定量化されたり、モルフォロギー的考察により定性的に解明されたりする(土屋, 2007)。しかし、ローラースピードスケート競技の運動技術を定量的あるいは定性的に解明した研究は見当たらない。そのため指導現場では、自己あるいは他者観察により、習得あるいは修正すべき運動情報を抽出したうえで、技術トレーニングの考案がなされる。観察により得られた運動情報は主観的な運動情報である場合が多いが、多くの選手の主観的な運動情報を集積することで運動技術を明らかにできるとされる(佐野, 2003)。しかし、競技人口の少ない競技種目では多くの主観的な運動情報を集積し、運動技術を明らかにすることは困難と考えられる。これらのことを考慮すると、競技人口の少ない国ではローラースピードスケート競技の運動技術が適切に把握されないまま、滑走動作に関する指導がなされる可能性があるといえる。これに対して、外見上の滑走動作が類似するスピードスケート競技では、国際水準での競技成績の向上を図るためには運動技術を明らかにする必要があるとし(湯田ほか, 2003)、運動技術を定量的に解明した研究が多くなされている。日本のスピードスケート競技は、2014年冬季オリンピックソチ大会では男女ともにメダルを獲得できなかったが、2018年冬季オリンピック平昌大会では金メダル3個、銀メダル2個、銅メダル1個を獲得している。国内のスピードスケート競技研究の第一人者である信州大学の結城匡啓教授や日本女子体育大学の湯田淳教授が強化スタッフとして活動していることを踏まえると、スピードスケート競技では、定量的な運動技術の解明とそれに基づいたトレーニングが構築されていることが推察される。このことは、定量的に運動技術を解明することが競技成績を図るうえで重要であることを示唆するものである。そのため、ローラー

スピードスケート競技においても競技成績を向上させるためには、滑走動作に関する運動技術(以下、「滑走技術」と略す)を定量的に明らかにする必要がある。

第3節 スピードスケート競技に関するバイオメカニクス的研究概観

ローラースピードスケート競技の滑走技術を明らかにしたバイオメカニクス的研究は見当たらない。一方、スピードスケート競技には、バイオメカニクス的手法を用いて競技中のレース分析や、競技固有の滑走技術を解明した研究が多く存在する。スピードスケート競技のバイオメカニクス的研究にはインラインスケート滑走を対象とした研究も含まれるが、いずれもスピードスケート選手を対象とした研究であるため、ローラースピードスケート競技の滑走技術が明らかにされたといい難い。しかし、これらのバイオメカニクス的研究を概観することは、ローラースピードスケート競技の滑走技術を明らかにするうえで有効と考えられる。そこで本節では、スピードスケート競技に関するバイオメカニクス的研究を概観することとした。

1. スピードスケート競技における滑走動作

スピードスケート競技では、低い滑走姿勢を維持しながら支持脚の伸展動作(以下、「プッシュオフ動作」とする)によって推進力を獲得する。滑走動作には、身体重心を左右に移動させるようにプッシュオフ動作を行うストレート滑走動作と、身体をカーブ内側に傾斜(以下、「内傾」とする)させながらプッシュオフ動作を行うカーブ滑走動作がある(図 1.3)。さらに、カーブ滑走動作では、身体重心を常にカーブ内側に移動させるために、離地した右足を左足の前方を通過させる「レッグオーバー動作」(de Boer et al., 1987)が実施される。また、これらの滑走動作において、右ブレードの離氷時点から左ブレードの離氷時点までが左ストローク、左ブレードの離氷時点から右ブレードの離氷時点までが右ストロークと定義されている(図 1.4, 湯田ほか, 2003)。

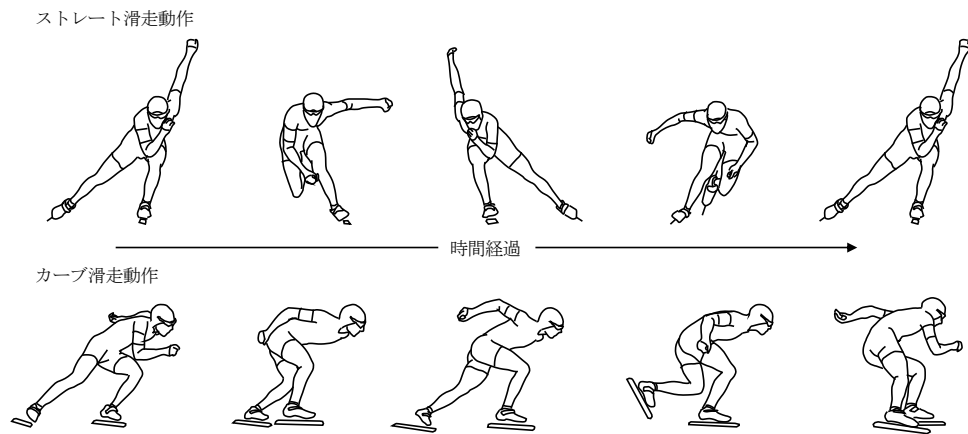


図 1.3 スピードスケート競技における滑走動作

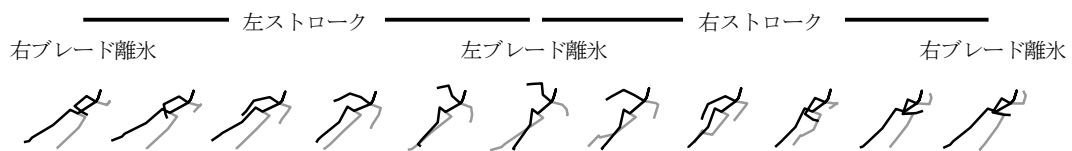


図 1.4 スピードスケート競技におけるストロークの定義

2. スピードスケート競技におけるレース分析

スピードスケート競技では、競技成績の優れた選手のレース分析を行うことで、滑走時間の短縮に資する要因が明らかにされている。500m 種目に関して Fokichev et al. (1990)は、滑走時間を短縮するためには 200-300m のストレート区間にて高い滑走速度を獲得する必要があると報告している。しかし、この報告は踵部分が固定された従来型スケート靴に関するものである。スピードスケート競技では、スケート靴とブレードが踵部分で離れるスラップスケートが主流となってから、滑走時間が著しく短縮している。500m 種目に関して 結城ほか(1998)は、従来型スケートとスラップスケート装着時の滑走速度を比較し、スラップスケートでは 200-300m 以降も高い滑走速度で滑走していることに加え、300-400m のカーブ区間でインコースを滑走する場合、滑走速度の減速を抑える必要があるとしている。また、湯田ほか(2002a, 2006a)は、冬季オリンピックソルトレイクシティ大会 500m 種目で競技成績の優れた選手のレースペースを分析している。この結果、男子 500m 種目の滑走時間を短縮するためには、インコースからスタートした場合は 300-400m のアウトカーブ区間、アウトコースからスタートした場合は 200-300m のストレート区間にて高い滑走速度

で滑走する必要があると示唆している(湯田ほか, 2002a). さらに, 女子 500m 種目では, インコースからスタートした場合に, 競技成績の優れた選手は 200-300m のストレート区間, それ以外の選手は 300-400m のアウトカーブ区間にて最大滑走速度を獲得していることが報告されている(湯田ほか, 2006a). これらの研究(Fokichev et al., 1990; 結城ほか, 1998; 湯田ほか, 2002a, 2006a)は, 500m 種目ではスタートするコースや競技成績の優劣, 性別により滑走時間の短縮に資する滑走区間が異なっていることを示唆するものである.

1000m 種目に関して Fokichev et al. (1990)は, 550-650m のストレート区間にて高い滑走速度で滑走することが, 滑走時間の短縮に資することを報告している. また, 結城ほか(1999)は, 1000m 種目では滑走速度が, 約 250m 地点にて最大値に達してから, 700m 地点まで漸減傾向を示した後, 急減することを報告している. さらに, レース後半における滑走速度の低下を防ぐためには, 200m 付近のストレート区間にてサイクル頻度を低下せずに加速すること, 600m 地点通過以降にサイクル頻度の低下を防ぐ必要があることを報告している. さらに, 湯田ほか(2001)は, 2 日間で 1000m 滑走を 2 回実施させ, 滑走時間の短い試技と長い試技における滑走速度とサイクル頻度を比較し, レース後半における滑走速度の減少を抑えるためには, 450-550m, 650-750m, 850-950m のカーブ区間において高いサイクル頻度を維持するとともに, 150-250m のストレート区間にてサイクル頻度を過度に高くしないことが有効であることを示唆している.

中・長距離種目に関して横澤ほか(2018)は, 1500m 種目と 5000m 種目におけるレースを分析し, 両種目においてカーブ区間ではよりカーブ内側を滑走することが滑走時間の短縮に資することに加え, 滑走速度はストレート区間にて減少, カーブ区間にて増大するように変化するが, 5000m 種目ではストレート区間にて減少を抑えた選手の競技成績が優れていることを示唆している. また, 5000m 種目に関して湯田ほか(2002b)は, 冬季オリンピック長野大会男子 5000m 種目にて優れた競技成績を獲得した選手のレースを分析し, レース前半にて高い滑走速度を獲得した後, カーブ区間を高いサイクル頻度で滑走することが, レース後半における滑走速度の減少を抑えることを報告している. とくに, 最大滑走速度が出現する 200-600m 区間, 滑走速度が低くなる 4200-5000m 区間では, サイクル頻度を高めることが, 高い滑走速度を獲得することに貢献することを示唆している.

3. スピードスケート競技における滑走技術に関するバイオメカニクス的研究概観

van Ingen Schenau and Bakker (1980)は, 氷上では摩擦抵抗は極めて小さく, 滑走方向

への推進力が滑走速度の増大に貢献しないため、水平面においてスケート靴と垂直方向へのプッシュオフ動作により推進力を獲得する必要があると報告している。しかし、van Ingen Schenau and Bakker (1980)の研究結果は、スピードスケート滑走をする選手の滑走動作を分析して得られた知見ではない。この点に関して、結城ほか(1992)は、ストレート滑走におけるプッシュオフ動作

と身体重心速度の変化を分析し、競技成績の優れた選手は、身体重心をより前方に移動させることで高い滑走速度を獲得していることを報告している。また、結城ほか(1997)はブレードに作用する力(以下、「ブレード反力」と略す)を計測するためのセンサーを装着したセンサースケートを用いて、ストレート滑走動作時に獲得されるブレード反力と身体重心速度、水平面上で身体重心速度とブレードのなす角度(以下、「開き角度」とする)

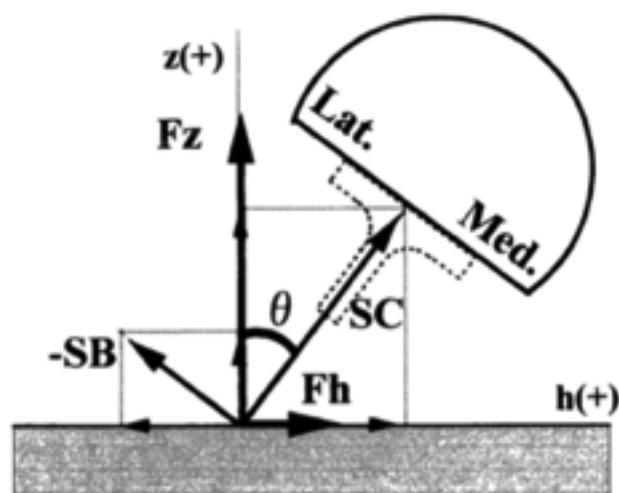


図 1.5 ブレード反力(結城ほか(1997)より引用)

† 図中の SC が、靴底に装着したセンサより得られたブレード反力を示している。

の関係を分析している(図 1.5)。この結果、開き角度があることで、ブレード反力および身体重心速度の滑走方向成分が生じていることに加え、ブレード反力の水平成分が身体重心速度の増大に貢献していることを示唆している。

スピードスケート競技では、高い滑走速度を獲得することが、競技成績を向上させるために重要となる。高い滑走速度を獲得するためには、空気抵抗を軽減するような滑走姿勢で滑走することに加え(van Ingen Schenau, 1982)、プッシュオフ動作により出力パワーを増大させる必要がある(van Ingen Schenau and Bakker, 1980)。空気抵抗を軽減させるためには、体幹部および大腿部が滑走面に対して、より水平な滑走姿勢で滑走する必要がある(van Ingen Schenau, 1982)とされるが、滑走距離が長くなるほど滑走姿勢が高くなることが報告されている(van Ingen Schenau and Bakker, 1980)。滑走姿勢と空気抵抗の関係

に関して湯田ほか(2009)は、肩の位置および姿勢が異なる複数の滑走姿勢時の空気抵抗力を風洞実験室にて測定し、滑走姿勢の相違が空気抵抗に及ぼす影響を検討している。この結果、肩や滑走姿勢が高い位置にあると前投影面積が増大することで空気抵抗が大きくなったが、より低い滑走姿勢では空気抵抗係数を大きくなるため、空気抵抗に大きな変化がみられないことを報告している。これらの結果を踏まえたうえで、湯田ほか(2009)は体幹角度、 $11.0 \pm 5.2 \text{deg.}$ 、大腿角度、 $27.5 \pm 9.4 \text{deg.}$ 、下腿角度、 $59.5 \pm 5.7 \text{deg.}$ となる滑走姿勢が、空気抵抗を軽減するうえで合理的な滑走姿勢であることを示唆している。

また、プッシュオフ動作による出力パワーは、ストローク中の仕事量とストローク頻度の積として決定される(van Ingen Schenau and Bakker, 1980; 結城ほか, 1996)。とくに、ストローク中の仕事量が競技成績と関係し、ストローク中の仕事量はプッシュオフ動作と関係する(van Ingen Schenau et al., 1985)。ストレート滑走動作では、ストローク開始時点の支持脚の膝関節角度、とくに大腿部が水平面となす角度が小さく(van Ingen Schenau et al., 1983)、ストローク終盤に向けて大腿部が大きく前方回転することが報告されている(結城ほか, 1992)。とくに、短距離種目において競技成績の優れた選手は、矢状面上における大腿部の前方回転が大きいことに加え、足関節を大きく背屈することで、身体重心を滑走方向に移動させていることが報告されている(結城ほか, 1992)。また、ストレート滑走動作では、開き角度を小さくしブレード反力を大きくすることで、身体重心速度を増大させる必要があるとされている(結城ほか, 1997)。結城(1999)は、開き角度と支持脚関節トルクを分析し、高速滑走時に開き角度が大きい場合、スケート靴が外側に移動することを防ぐために股関節内転トルクが発揮されるが、開き角度が小さい場合には、ブレードの曲線運動によりスケート靴が身体に近づくため、それに抗するように股関節外転トルクが発揮されることを報告している。さらに、結城(2013)は、股関節外転トルクは膝関節伸展トルク、足関節底屈トルクを増大させることに貢献するため、効率よく大きなブレード反力を獲得できることを示唆している。

一方、カーブ滑走動作におけるプッシュオフ動作に関して Yuda and Ae (2002)は、500m 種目にて優れた競技成績を獲得するためには、身体の内傾位を大きくすることに加え、大腿部の前方回転および下腿部の内傾位を大きくする必要があることを報告している。しかし、長距離種目を専門とする選手のカーブ滑走動作では、短距離種目におけるプッシュオフ動作の動態は異なり、競技成績の優れた選手の大腿部の前方回転は大きかったものの、下腿部をあまり前傾させずに滑走していることが報告されている(湯田ほか, 2003)。これら

の研究(Yuda and Ae, 2002; 湯田ほか, 2003)は、カーブ滑走動作では、滑走距離によって下腿部の動態は異なるものの、身体重心の前方移動を大きくするためには、大腿部の前方回転を大きくする必要があることを示唆するものである。さらに、Yuda et al. (2007)は長距離種目を専門とする選手を対象に、疲労によるカーブ滑走動作の変化を分析し、身体重心速度と滑走時間、右ストロークにおける滑走局面の所要時間の間に負の相関関係がみられること、レース後半における身体重心速度とサイクル頻度の間に正の相関関係がみられること、レース後半にて滑走速度が低下した選手は下腿部が後傾していることを報告している。このことは、長距離種目において高い滑走速度を獲得するためには、右ストロークの所要時間を短縮し高いストローク頻度を獲得することに加え、レース後半において下腿部の後傾を防ぐ必要があることを示唆するものである。さらに、レース後半にて滑走速度が低下した選手の下腿部が後傾したことを鑑みると、カーブ滑走動作では下腿部を前傾させながら滑走する必要があると考えられる。しかし、競技成績の優れた長距離種目を専門とする選手が下腿部の前傾を抑えながら滑走していたこと(湯田ほか, 2003)を考慮すると、長距離種目において下腿部の前傾を大きくすることが、選手にどのような影響を及ぼすのかを検討することが課題といえよう。競技成績の優れた選手がカーブ滑走中に発揮する関節トルクに関して湯田ほか(2005)は、ストローク前半では股関節および膝関節の伸展トルクが大きく、ストローク後半では股関節外転トルク、膝関節伸展トルクが大きいことを報告している。また、湯田ほか(2006b)は、遊脚における関節トルクを分析し、左右のストロークにおける仕事量が股関節、膝関節、足関節の順番に大きく、ストローク前半にて股関節屈曲トルクが大きいことを報告している。

カーブ区間では、遠心力に抗するために高い求心力成分を獲得する必要がある。Yuda et al. (2004) は、左ストロークにて獲得されるブレード反力と身体重心速度の関係を分析し、ストローク前半においてブレードをより内傾させることで、ブレード反力と身体重心速度の水平成分を増大できると報告している。ブレード反力の水平成分はカーブ滑走動作にて獲得された求心力成分であるため、スピードスケート競技ではカーブ滑走動作では下腿部をより内傾させ、大きな求心力成分を獲得しながら滑走する必要があることが示唆されている(湯田ほか, 2003; Yuda et al., 2004)。

4. インラインスケート滑走に関するスピードスケート競技のバイオメカニクス的研究概観
スピードスケート競技では、トレーニングの一環としてインラインスケート滑走が実施

されることが多い. de Boer et al. (1987) はスピードスケート滑走とインラインスケート滑走におけるストレート滑走動作を比較し, その相違点を検討している. その結果, インラインスケート滑走におけるストレート滑走動作は, スピードスケート滑走と比べて①プッシュオフ動作開始時点の膝関節角度が大きく, ②身体重心がより前方に位置しているが, 股関節や側方へのプッシュオフ動作の動態は類似することが報告されている. また, 小池ほか(2012)はインラインスケート滑走におけるストレート滑走動作にて発揮する下肢関節トルクと身体重心速度の関係を分析し, 身体重心速度の変化は足関節および膝関節トルクによるものであり, 股関節トルクは身体重心速度の変化に貢献しないことを報告している.

第4節 問題の所在

スピードスケート競技では、競技成績の優れた選手の①レース分析、②滑走動作のキネマティクスおよびキネティクスの研究により、競技成績の向上に資する知見が得られている。しかし、ローラースピードスケート競技には複数名が一斉に滑走する競技種目が多く(表 1.1)、駆け引きが競技成績の優劣に影響すると推察される。駆け引きがある場合、選手個人の技能が競技成績に及ぼす影響が小さくなり、滑走技術を解明することが困難と考えられる。そのため、優れた滑走技術を明らかにするためには、駆け引きのない競技種目を対象とする必要がある。ローラースピードスケート競技において、駆け引きのない競技種目は、300m タイムトライアル種目(以下、「300mTT」と略す)のみである。そこで、本研究ではローラースピードスケート競技における滑走技術を明らかにするため、300mTT を分析対象種目とした。

第 5 節 本研究の目的

スピードスケート競技の滑走動作に関する研究概観から、ローラースピードスケート競技においても、レース分析や滑走動作のバイオメカニクス的研究により、競技成績の向上に資する知見を明らかにする必要があると考えられる。しかし、自然科学的研究により得られた知見は、指導者にとって難解である場合が多い。この問題を解決するためには滑走動作のキネマティクスの特徴に着目する必要があると考えられる。

そこで本研究の目的は、ローラースピードスケート競技において優れた滑走動作の技術的要因をバイオメカニクスの手法によって明らかにすることとした。具体的には以下の通りである。

1. ローラースピードスケート競技トラック種目における 300mTT において、競技成績の向上に資する滑走区間を明らかにする(第 2 章).
2. カーブ区間が平坦なフラットトラックで実施される 300mTT において、競技成績の優れた日本人選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を明らかにする(第 3 章).
3. 世界選手権大会で実施された 300mTT において、決勝進出した選手とそうでない選手のカーブ滑走動作を比較することで、優れたカーブ滑走動作の技術的要因を明らかにする(第 4 章).
4. 世界選手権大会で実施された 300mTT において、決勝進出した選手と日本人選手のカーブ滑走動作を比較し、バンクトラックにおける日本人選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を明らかにする(第 5 章).

第2章 ローラースピードスケート競技 300m タイムトライアル種目における世界一流選手のレースの特徴

第1節 緒言

ローラースピードスケート競技の滑走動作には、ストレート滑走動作とカーブ滑走動作(図 1.3)に加え、カーブ区間において左右両方の足が接地した状態をしばらく維持してからプッシュオフ動作を開始する、キャリング(Marcelloni, 2005)という滑走動作が存在する。キャリングはローラースピードスケート競技特有の滑走動作であるにも関わらず、これらの滑走動作が実施される滑走区間の滑走速度と 300mTT の滑走時間の関係を明らかにした研究は見当たらない。300mTT は滑走時間を競う種目であるため、300mTT における滑走区間の速度と競技成績の関係を明らかにすることは、滑走時間の短縮に資する知見を得る上で重要といえる。滑走時間の短縮に資する滑走区間を明らかにするためには、世界選手権大会において優れた競技成績を獲得した選手のレースを分析する必要があると考えられる。そこで、本研究の目的は、ローラースピードスケート競技 300mTT における世界一流選手のレースの実態を明らかにすることとした。

第2節 方法

1. 測定区間の定義

図 2.1 に、本研究における測定区間の定義を示した。本研究では、300mTT を 4 つのストレート区間(Start, S1, S2, Finish)と 3 つのカーブ区間(C1, C2, C3)に分類した。各測定区間の区間距離は、Start が 8.00m, S1 と S2 が 57.84m, Finish が 49.84m, C1, C2, C3 が 42.16m であった。

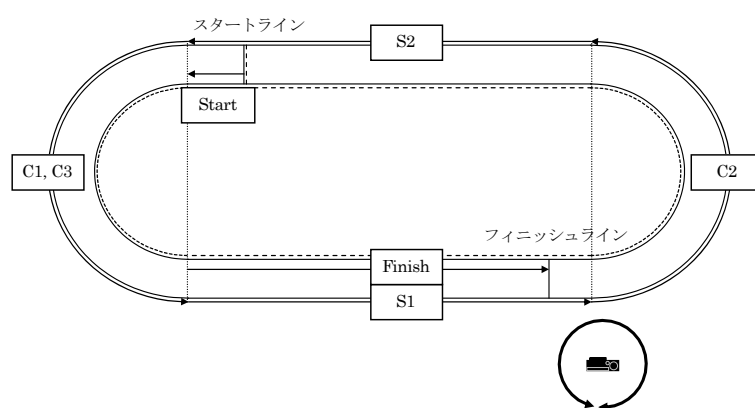


図 2.1 測定区間の定義

2. 分析対象者

2016 年 9 月 10 日から 18 日まで中国の南京市にて開催された World Roller Speed Skating Championships シニア男子 300mTT を分析対象種目とした。なお、World Roller Speed Skating Championships で使用されたトラックは、国際規則に準じた 1 周 200m のバンクトラックであった。300mTT に出場した選手 52 名のうち、21 名の選手から研究参加の同意を得た。研究参加同意者は、決勝進出者 12 名中 9 名と予選敗退者のうち 20 位-45 位の選手 12 名であった。C1 にてキャリングを実施した選手はいなかったが、決勝進出者全員と予選敗退者のうち 9 名は、C2 と C3 にてキャリングを実施していた。そこで、決勝進出者 9 名を上位群(年齢, 24.2 ± 2.4 歳; 身長, 1.8 ± 0.1 m; 体重, 73.2 ± 5.1 kg), C2 と C3 にてキャリングを実施した予選敗退者 9 名を下位群(年齢, 24.0 ± 3.4 歳; 身長, 1.8 ± 0.0 m; 体重, 74.6 ± 7.1 kg)とした。また、C2 にてキャリングを実施しなかったが、C3 にてキャリ

ングを実施した予選敗退者 3 名を非キャリング群(年齢, 25.0 ± 5.1 歳; 身長, $1.8 \pm 0.0\text{m}$; 体重, $74.7 \pm 2.4\text{kg}$)と定義した. なお, 300mTT の公式記録は, 決勝進出者は決勝, 予選敗退者は予選の記録が採用される. そのため, 本研究では上位群は決勝の映像, 下位群と非キャリング群は予選の映像を用いた.

3. 映像の収集

本研究では, フィニッシュライン付近のスタンドに 1 台のビデオカメラ(EX-100Ore, CASIO 社製, 日本)を設置した(図 2.1). また, ビデオカメラを, トラックの平坦面から約 11.3m 地点に設置した. また, 本研究では屋外競技場にて実施されたこと, 日照時間の変化しやすい時間帯に実施されたため, 露出時間を適宜変更しながら映像を収集した. 本研究では, 毎秒 30 フレーム, 露出時間 1/30-1/2000 秒で選手を追従撮影した. なお, 設定した露出時間は, 各測定区間を通過するウイールが目視にて確認できる露出時間であった.

4. 分析項目および算出方法

本研究では, スタート時に左右いずれかのウイール先端がスタートラインを通過した時点を測定終了時点, 同様にウイール先端がフィニッシュラインを通過した時点を測定終了時点と定義した. また, 分析項目は 300mTT の滑走時間(以下, 「 T_{300} 」と略す), 各測定区間における滑走時間と滑走速度, キャリングの所要時間(以下, 「 T_{car} 」と略す)とした. 時間換算は, フレーム数に分解能 0.033 秒を乗じることで算出した. T_{300} には測定開始時点から測定終了時点までに要したフレーム数, T_{car} にはキャリングに要したフレーム数を用いた. 各測定区間における滑走速度は, 各測定区間通過に要したフレーム数を用いて各測定区間の滑走時間(表 2.1)を算出した後, 各測定区間における区間距離を滑走時間で除することによって算出した.

5. 統計処理

すべてのデータは, 平均値と標準偏差(mean \pm S.D.)で示した. 本研究で得られたデータの統計処理には, 統計解析ソフトウェア(SPSS Statistics ver.25, IBM 社製, 日本)を用いた. 上位群と下位群の T_{300} および T_{car} の比較には, 対応のないスチューデント t 検定を用いた. 各測定区間における滑走速度の比較には, 群と測定区間を主要因とする二元配置分散分析を用いた. 二元配置分散分析にて交互作用がみられた場合には, Bonferroni の方法に

よる多重比較検定を用いた．各群における T_{300} と各測定区間の滑走速度および T_{car} の単回帰分析には，Pearson の積率相関係数を用いた．すべての統計処理において，危険率 5%未満($p<0.05$)を有意水準とした．

表 2.1 800mTTの滑走時間、各測定区間とキャリングの所要時間

	滑走時間[s]	Start[s]	C1[s]	S1[s]	C2[s]	S2[s]	C3[s]	Finish[s]	T _{car} (C2)[s]	T _{car} (C3)[s]
上位群	24.20±0.20	1.72±0.07	4.21±0.13	4.14±0.10	3.28±0.05	4.21±0.05	3.46±0.13	3.16±0.11	1.07±0.25 (32.59±7.73)	1.38±0.19 (39.91±5.69)
下位群	25.72±0.20	1.84±0.05	4.50±0.81	4.49±0.16	3.48±0.05	4.44±0.04	3.56±0.08	3.39±0.08	0.88±0.38 (25.19±10.9)	1.40±0.23 (39.18±6.33)
非キャリング群	26.16±0.60	1.80±0.03	4.68±0.32	4.43±0.04	3.56±0.12	4.57±0.09	3.75±0.08	3.31±0.04		0.94±0.06 (25.16±1.85)

† C2とC3におけるTearの割合[%]を括弧内に示した。また、上位群と下位群の有意差を「*」を用いて示した(p<0.05)。

第3節 結果

1. C2における非キャリング群のレース様相に関する結果

本研究では、上位群はC2とC3にてキャリングを実施していたのに対し、C2とC3にてキャリングを実施した予選敗退者は9名であった。図2.2に、すべての群の各測定区間における滑走速度を示した。S1からC2において、S1では下位群と非キャリング群の滑走速度は類似したが、C2では非キャリング群が下位群と比べてやや低い値を示した。

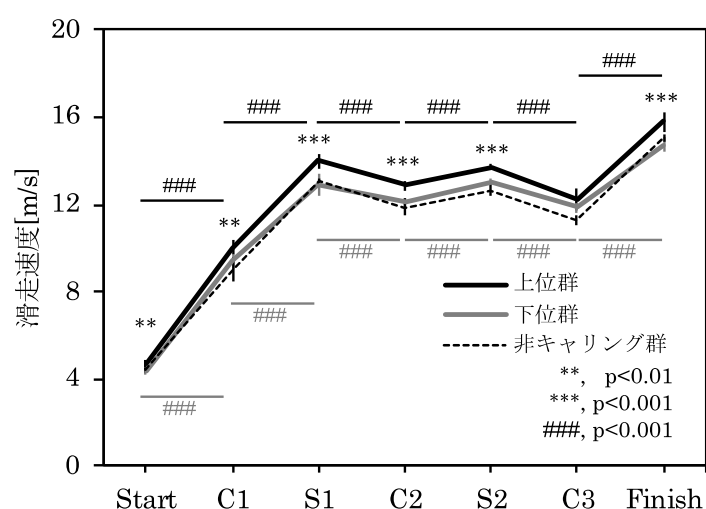


図 2.2 300mTT における滑走速度の変化

2. 上位群と下位群のレース様相に関する結果

T_{300} は、上位群が下位群と比べて有意に低い値を示した(表 2.1)。図 2.2 に、上位群と下位群の各測定区間における滑走速度を示した。二元配置分散分析の結果、群と測定区間に交互作用がみられた($p<0.05$)。滑走速度は両群とも、Start から S1 まで直前の測定区間と比べて有意に高い値を示した後、C2 と C3 にて直前の測定区間と比べて有意に低く、S2 と Finish にて直前の測定区間と比べて有意に高い値を示し($p<0.05$)、Finish にて最大値を示した(上位群, $15.77 \pm 0.15 \text{ m/s}$; 下位群, $14.73 \pm 0.15 \text{ m/s}$)。また、Start から S2, および Finish にて、上位群が下位群と比べて有意に高い値を示した($p<0.05$)。C2 と C3 にて、 T_{car} は上位群と下位群の間に有意な差はみられなかった(表 2.1)。図 2.3 に、 T_{300} と各測定区間における滑走速度および T_{car} の関係を示した。上位群では T_{300} と C2 の間に有意な負の相関関係

がみられ、下位群では T_{300} と Start, C1, S2, C3 の間に有意な負の相関関係、 T_{300} と C2 における T_{car} の間に有意な正の相関関係がみられた(図 2.3).

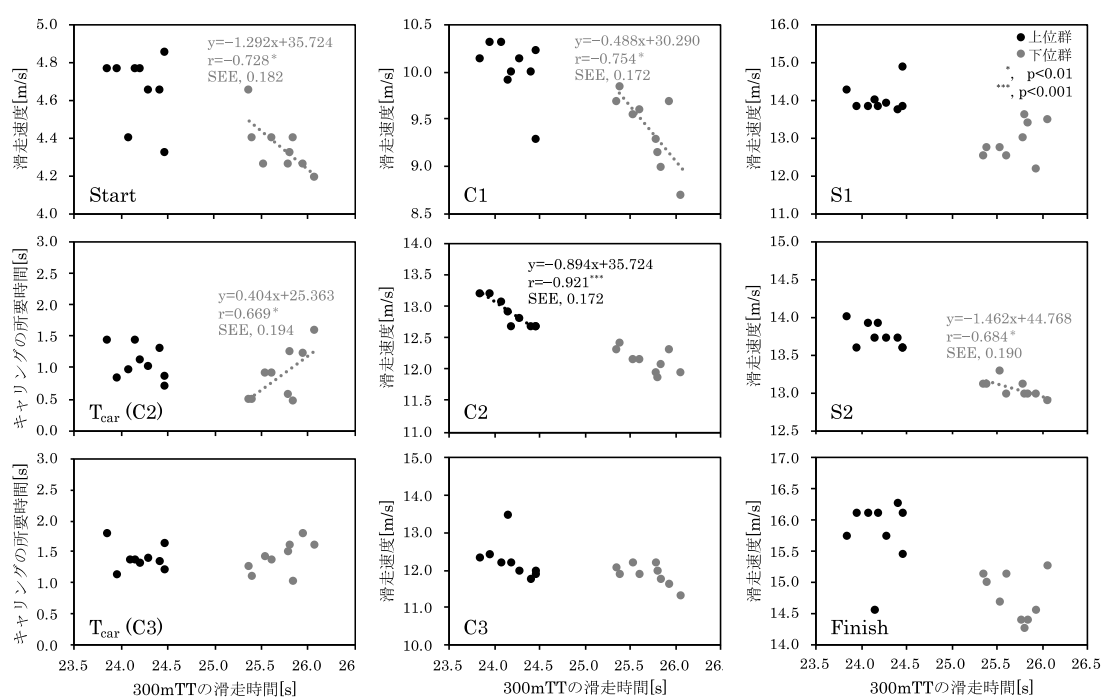


図 2.3 300mTT の滑走時間と各測定区間における滑走速度, T_{car} の関係

† 従属変数を y , 説明変数を x で示した. また, 相関関係がみられた測定区間における推定値の標準偏差を SEE で示した.

第4節 考察

1. C2におけるキャリングの有無が滑走速度に及ぼす影響

C2において、上位群に属する選手はすべてキャリングを実施していたのに対し、予選敗退者はキャリングを実施する選手と、実施しない選手が混在していた。このことは、C2にて必ずキャリングを実施することが、300mTTにおける上位群の特徴であることを示唆するものである。

予選敗退者である下位群と非キャリング群の滑走速度に着目すると、両群の Start から S1 までの滑走速度は類似するものの、C2 にて下位群が非キャリング群と比べて高い滑走速度で滑走する傾向がみられた(図 2.2)。このことは、S1 における滑走速度が類似する場合、C2 にてキャリングを実施することで高い滑走速度を維持できる可能性があることを示唆するものである。キャリング実施中はプッシュオフ動作により推進力が獲得できないことで遠心力が小さくなり、滑走距離を短縮できると推察される。また、キャリングを実施しない場合は、プッシュオフ動作により推進力を獲得しながら滑走することで遠心力が大きくなり、カーブ外側に移動するような滑走軌跡になると推察される。しかし、カーブ外側を滑走した場合、カーブ内側を滑走する場合と比べて滑走距離は増大すると考えられる。カーブ区間における滑走距離の増大は、滑走速度の低下の要因であることが報告されている(湯田ほか, 2006)。そのため、カーブ区間では滑走距離を短縮することが、高い滑走速度を維持するために必要と考えられる。これらのことから、キャリングの実施により滑走距離を短縮できたため、C2 にて下位群は非キャリング群に比べて、高い滑走速度を維持できた可能性があることが示唆された。しかし、本研究では滑走軌跡や滑走距離に関する結果を得ることはできなかった。今後は、キャリングの有無による滑走速度の変化様態を、滑走軌跡や滑走距離を考慮し検討する必要がある。

2. 滑走速度に関する考察

本研究では、滑走速度は上位群および下位群ともに、Start から S1 まで有意に増大した後、カーブ区間にて有意に減少、ストレート区間にて有意に増大した。また、滑走速度は両群とも Finish にて最大値を示すように変化した(図 2.2)。このことは、競技成績に関わらず、滑走速度の変化様態は類似し、C1 通過後はストレート区間にて滑走速度を増大させていることを示すものである。また、300mTT は 30 秒未満の運動であり、このような運動で

は All-out 型のペース配分が採用されることが報告されている (Abiss and Laursen, 2008).

All-out 型の運動では、レース前半で最高速度に達した後、速度が漸減するように変化する傾向にあると報告されている (Abiss and Laursen, 2008). しかし、本研究では Finish にて最大滑走速度に達するように変化した (図 2.2). Finish にて示された滑走速度は、選手が獲得できる最大滑走速度と推察される. バンクトラックにて競技会が実施される競技に自転車競技トラック種目がある. 自転車競技トラック種目では、走行速度が 75km/h でもタイヤが横滑りしないようにカーブ区間のバンクが設定されている. これに対し、ローラースピードスケート競技では、カーブ区間における横滑りを防止するために十分なバンクが設定されていないため、カーブ区間では多くの選手が、横滑りが原因で転倒している. また、カーブ区間では、選手をカーブ外側に押し出すように遠心力が作用する. カーブ外側に移動することで滑走距離は増大するため、滑走速度は低下すると考えられる (湯田ほか, 2006). そのため、カーブ区間を最短距離で滑走するためには、滑走速度を調整しながら滑走する必要があると推察される. これらのことから、Finish にて最大滑走速度に達したのは、カーブ区間にて遠心力によるカーブ外側への移動を抑えることに加え、横滑りによる転倒を防ぐために滑走速度を調整していたためであることが示唆された.

本研究では、C3 を除く測定区間にて上位群が高い滑走速度で滑走していることが示された (図 2.2). このことは、上位群はスタート直後から高い滑走速度を獲得していることを示唆するものである. そのため、上位群は静止状態からの加速能力に優れていると考えられる. また、C3 にて上位群と下位群の滑走速度に有意差はみられなかったが、続く Finish にて上位群が下位群と比べて高い滑走速度で滑走していることが示された (図 2.2). このことは、上位群は Finish におけるストレート滑走動作によって、高い滑走速度を獲得する能力に優れていることを示唆するものである.

上位群では C2, 下位群では Start, C1, S2, C3 にて高い滑走速度を獲得した選手の T_{300} が短いことが示された (図 2.3). このことは、競技成績の優劣により 300mTT の滑走時間の短縮に資する測定区間が異なることに加え、上位群ではストレート区間における滑走速度が 300mTT の滑走時間に影響しないことを示唆するものである. ここで、300mTT の滑走速度に着目すると、滑走速度は S1 以降、カーブ区間にて減少、ストレート区間にて増大することが示された (図 2.2). 滑走時間を競う競技では、高い滑走速度を維持する必要があることを踏まえると、カーブ区間における滑走速度の低下を最小限に抑える必要があると推察される. そのため、上位群はストレート区間にて獲得した高い滑走速度を、カーブ区間に

て維持するように滑走しているため、ストレート区間における滑走速度が 300mTT の滑走時間に影響しなかったと考えられる。

また、滑走速度は **Start** から **S1** まで増大した後、**C2** にて減少したことから、**C2** にて高い滑走速度を維持するためには、**S1** までに高い滑走速度を獲得する必要があると考えられる。さらに、**S1** にて高い滑走速度を獲得した上位群は、**Start** から高い滑走速度を獲得していることが示された(図 2.2)。そのため、**S1** にて高い滑走速度を獲得するためには、**Start** にて高い滑走速度を獲得する必要があると考えられる。このことから、世界一流選手は **Start** にて高い滑走速度を獲得したことで、**S1** までに高い滑走速度を獲得できたことが示唆された。

以上のことから、上位群は **Start**, **S1**, **C2**, **Finish** にて高い滑走速度で滑走することで、300mTT の滑走時間を短縮していたと考えられる。

3. 滑走時間とキャリングの関係

本研究では、**C2** と **C3** における T_{car} は、上位群と下位群の間に有意な群間差はみられなかった(表 2.1)。このことは、キャリングを実施する時間は、競技成績によらず類似することを示唆するものである。キャリングでは、両足が接地した状態をしばらく維持して滑走する。そのため、キャリング実施中は推進力が獲得されないことが推察される。推進力が獲得されるまでは、空気抵抗や地面摩擦抵抗、ウイールの転がり抵抗によって、滑走速度が減少すると考えられ、滑走速度の減少によって T_{300} は増大すると推察される。本研究において、上位群では **C2** と **C3** の T_{car} が T_{300} に影響しないが、下位群では **C2** の T_{car} が T_{300} に影響することが示された(図 2.3)。このことは、上位群は **C2** と **C3** にて、キャリングによって滑走時間が増大しないように滑走していることを示唆するものである。**C2** では上位群が高い滑走速度で滑走していたことに加え(図 2.2)、**C2** の滑走速度が T_{300} の短縮に資するが、下位群では T_{300} に影響しないことが示された(図 2.3)。これらのことは、**C2** では上位群が高い滑走速度でもキャリングを実施する能力に加え、**C2** を通じて高い滑走速度を維持する能力を有していることを示唆するものである。これに対して、**C3** では両群の滑走速度と T_{car} が類似するにも関わらず、上位群の T_{car} は T_{300} に影響しないことが示された(図 2.3)。本研究では、**S1** 以降の測定区間において、滑走速度はカーブ区間で減少、ストレート区間で増大を繰り返すように変化した(図 2.2)。脚を止めた状態から滑走速度を増大させる場合、下肢筋群への負担は大きくなると推察される。また、 T_{car} による滑走速度の減少の影響を抑える

ためには、カーブ区間におけるキャリング直後から直後のストレート区間通過までに高い滑走速度を獲得する必要があると考えられる。C3 から Finish における滑走速度に着目すると、C3 では両群の滑走速度は類似するが、Finish にて上位群が高い滑走速度を獲得していることが示された(図 2.2)。このことは、上位群はストレート滑走動作により高い滑走速度を獲得する能力に優れていることを示唆するものである。これらのことから、上位群は疲労が蓄積された状態でも、C3 におけるキャリング直後のカーブ滑走動作、Finish におけるストレート滑走動作により高い滑走速度を獲得する能力に優れていたため、C3 の T_{car} が競技成績に影響しなかったことが示唆された。今後は、各測定区間における滑走軌跡や滑走速度の変化、競技成績の優れた選手のキャリングのバイオメカニクスの特徴を明らかにする必要がある。

4. 研究の限界と今後の課題

映像の収集にあたり、露出時間の平均値±標準偏差を提示できなかったことが本研究の限界である。今後、日照条件によって露出時間を変更する必要がある場合には、露出時間を記録し、論文内で露出時間の平均値±標準偏差を示せるように研究を実施する必要がある。

第 5 節 結論

本研究の目的は、ローラースピードスケート競技 300m タイムトライアル種目における世界一流選手のレース特徴を明らかにすることであった。本研究では、世界一流選手のレース特徴として以下の結果を得た。

- 1) 滑走速度は **Start** から **S1** まで増大した後、**Finish** にて最大滑走速度に達するまで減少、増大を繰り返すように変化した。
- 2) **C3** を除く測定区間にて、上位群は高い滑走速度で滑走していた。
- 3) 上位群と下位群の T_{car} は類似していたが、上位群では T_{car} が T_{300} に影響しないのに対し、下位群では **C2** における T_{car} が長い選手の T_{300} が長かった。
- 4) 上位群と下位群では、 T_{300} の短縮に資する測定区間が異なっており、上位群は **C2** を高い滑走速度で滑走した選手の T_{300} が短かった。

以上の結果から、世界一流選手は静止状態からの加速能力に優れており、スタート直後から高い滑走速度を獲得していることが示唆された。また、世界一流選手は **Start** から **S1** までに高い滑走速度を獲得することで、**C2** にて高い滑走速度を維持していることが示唆された。 T_{car} は、競技成績に関わらず類似するが、世界一流選手は T_{300} に影響しないようにキャリングを実施していることが示された。

第3章 国内ローラースピードスケート選手のフラットトラックにおけるカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴

第1節 緒言

300mTT では、C2 における滑走様態が競技成績の優劣に影響することが明らかとなった(第2章). ローラースピードスケート競技にはカーブ区間が傾斜するバンクトラックと平坦なフラットトラックが存在する. しかし、日本には国際規則に準じたバンクトラックが存在しないため、フラットトラックで技術トレーニングを実施する選手が多い. そのため、フラットトラックにおける日本人選手のカーブ滑走動作を把握することは、カーブ滑走動作の技術トレーニングを指導するうえで重要といえる.

そこで、本研究の目的は、ローラースピードスケート競技のフラットトラックにおける日本人選手のカーブ滑走動作の技術的要因を明らかにすることとした.

第2節 方法

1. 分析対象者

本研究では、熊谷スポーツ文化公園ローラースケート場にて開催された、第60回東日本ローラースケートスピードスケート選手権大会男子300mTTに出場した国際大会派遣候補選手のうち、本研究で構築した3次元計測範囲内(図3.1)で左ストローク開始地点が類似する選手2名を分析対象とした。さらに、分析対象者を競技成績の優劣によって上位選手(記録, 26"30; 年齢, 17歳; 身長, 1.71m; 体重, 60.0kg)と下位選手(記録, 30"60; 年齢, 24歳; 身長, 1.63m; 体重, 61.0kg)に分類した。上位選手は日本代表選手として国際大会出場経験があり、下位選手は国際大会出場経験がない選手であった。分析対象者には、本研究の目的を口頭で説明したうえで、書面にて研究参加の同意を得た。

2. 映像の収集

図3.1に、本研究における実験設定図を示した。映像の収集は、フィニッシュ直前のカーブ区間にて実施した。なお、熊谷スポーツ文化公園ローラースケート場は、カーブ区間が平坦なフラットトラックであった。競技会に先立ち、カーブ区間の中央から出口にかけて、幅10m×長さ20m×高さ2mの3次元計測範囲を構築し、それぞれX軸、Y軸、Z軸と定義した。その後、2台の高速度カメラ(EX-F1, CASIO社製、日本)を用いて、側方および後方から分析対象者を撮影した。高速度カメラの設定は、毎秒300フレーム、露出時間1/2000秒であった。2台の高速度カメラの同期は、それぞれの高速度カメラにより得られた映像から、右ウイールが離地した瞬間を目視にて確認して同期した。

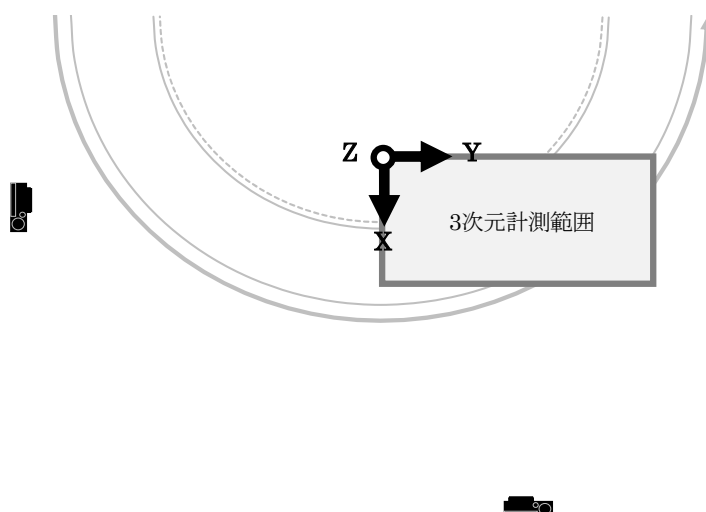


図 3.1 3次元計測範囲と高速度カメラの設置位置

3. ストロークの定義

図 3.2 に、ストロークの定義を示した。右ウイールの離地時点から左ウイールの離地時点までを左ストローク、左ウイールの離地時点から右ウイールの離地時点までを右ストロークと定義した。

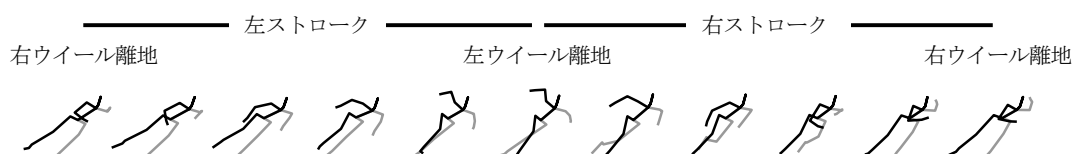


図 3.2 ストロークの定義

4. 分析項目と算出方法

撮影された映像から、3次元動作解析システム(Frame-DIAS V, DKH 社製, 日本)を用いて、身体各部位 21 点をデジタイズした後、左右の大転子を結ぶ線分の中点(以下、「大転子中点」と略す)を算出した。デジタイズされた座標値を 3 次元 DLT 法により実長換算し、分析点 22 点の 3 次元座標値を算出した。算出された 3 次元座標値は、残差分析法(Wells and Winter, 1980)により最適遮断周波数(3.1-9.4Hz)を決定した後、4 次のバターワース型ローパスフィルタを用いて平滑化した。その後、身体部分慣性係数(阿江ほか, 1992)を用いて身体重心位置を算出し、これを時間微分することで身体重心速度を算出した。さらに、本研究では身体重心を原点とし、X-Y 平面状の身体重心速度ベクトルを Y'軸, X-Y 平面上で Y'軸に直交する軸を X'軸, X'-Y'平面上に直交する軸を Z'軸とする移動座標系を構築した。

分析項目は、スピードスケート競技のカーブ滑走動作に関する研究(湯田ほか, 2003)に倣い、ストローク所要時間、X-Y 平面に投影した支持脚外踝に対する身体重心の軌跡、滑走速度、Y'-Z'平面に投影した支持脚の関節角度(膝、足関節)とセグメント角度(体幹角度、大腿角度、下腿角度)と動作範囲、X'-Z'平面に投影した側方傾斜角度(身体傾斜角度、下腿傾斜角度)と内傾範囲とした。ストローク所要時間は、左右それぞれのストローク開始時点から終了までに要した時間とした。身体重心の軌跡は、支持脚外踝を原点とした X'-Y'平面上の身体重心の軌跡とした。滑走速度は、左右それぞれのストロークにおける X-Y 平面上の身体重心速度の平均値とした。図 3.3 に、支持脚における関節角度、セグメント角度、側方傾斜角度の定義を示した。関節角度に関して、膝関節角度は大腿部と下腿部のなす角度、足関節角度

は下腿部と足部のなす角度と定義した。セグメント角度に関して、体幹角度を体幹部と Y' 軸がなす角度、大腿角度を支持脚大腿部と Y' 軸がなす角度、下腿角度を支持脚下腿部と Y' 軸がなす角度と定義した。また、体幹および下腿角度は、 Y' 軸を基準として反時計回りを正し、大腿角度は Y' 軸を基準として時計回りを正の方向とした。側方傾斜角度に関して、身体傾斜角度を身体重心と支持脚外踝を結ぶ線分と Z' 軸がなす角度、下腿傾斜角度を支持脚下腿部と Z' 軸がなす角度と定義した。動作範囲は、セグメント角度の最大値と最小値の差と定義した。側方傾斜角度は、 Z' 軸を基準として時計回りを正の方向とし、この方向への変化を内傾と定義した。内傾範囲は、側方傾斜角度の最大値と最小値の差と定義した。なお、分析項目の時系列データは、左右それぞれのストロークに要した時間で規格化した。

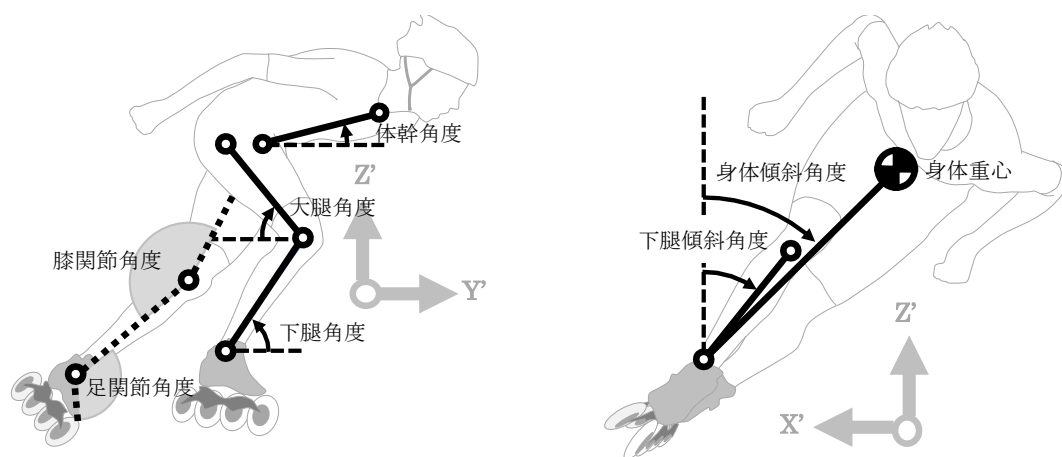


図 3.3 関節角度, セグメント角度と側方傾斜角度の定義

第3節 結果

1. 身体重心に関する結果

ストローク所要時間に関して、左ストロークでは上位選手(0.37s)が下位選手(0.32s)に比べて高い値を示したが、右ストロークでは同値(0.42s)であった。図 3.4 に、X'-Y'平面における身体重心の軌跡を示した。また、表 3.1 に支持脚外踝に対する身体重心の変位量を示した。ストローク開始時点の身体重心の位置は、左ストロークでは上位選手が下位選手に比べてよりカーブ内側に位置していたが、右ストロークでは下位選手は上位選手に比べてよりカーブ内側に位置していた。左右のストロークにおいて、身体重心の変位量は上位選手が下位選手に比べて高い値を示したが、身体重心の変化のしかたは、左右のストロークで異なっていた。左ストロークでは、両選手とも X 座標成分が低く、Y 座標成分が高い値を示したが、右ストロークでは上位選手は X 座標成分が Y 座標成分に比べて高く、下位選手は Y 座標成分が X 座標成分に比べて高い値を示した。滑走速度は、左右のストロークにおいて上位選手(左, 12.3m/s; 右, 12.2m/s)が下位選手(左, 10.7m/s; 右, 10.7m/s)に比べて高い値を示した。

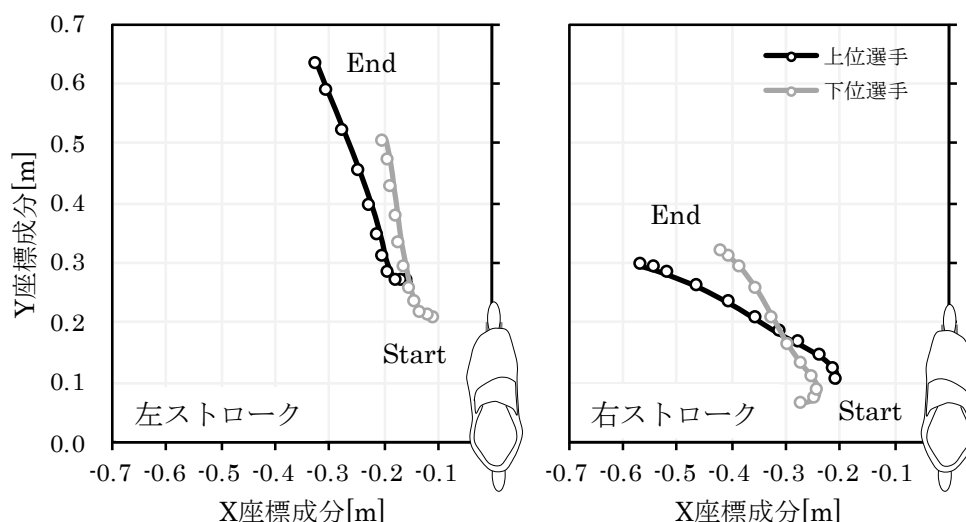


図 3.4 支持脚外踝に対する身体重心の軌跡

† 左右のストロークにおける支持脚外踝に対する身体重心の軌跡を水平面に投影した。図中の原点は、左ストロークでは左支持脚、右ストロークでは右支持脚の外踝を示す。なお、10%ストロークごとに上位選手には黒色枠の丸印、下位選手には灰色枠の丸印を付した。

表 3.1 支持脚外踝に対する身体重心の変位

	上位選手	下位選手
左ストローク	0.40	0.31
X座標成分[m]	0.16	0.09
Y座標成分[m]	0.36	0.29
右ストローク	0.40	0.29
X座標成分[m]	0.35	0.14
Y座標成分[m]	0.19	0.25

2. 支持脚の関節角度とセグメント角度に関する結果

図 3.5 に、左右のストロークにおける支持脚の関節角度を示した。左右のストローク開始時点における各関節角度は、上位選手が下位選手に比べて低い値を示した。また、ストローク終了時点における各関節角度に関して、左ストロークでは上位選手が下位選手に比べて高い値を示したのに対し、右ストロークでは上位選手が下位選手に比べて低い値を示した。

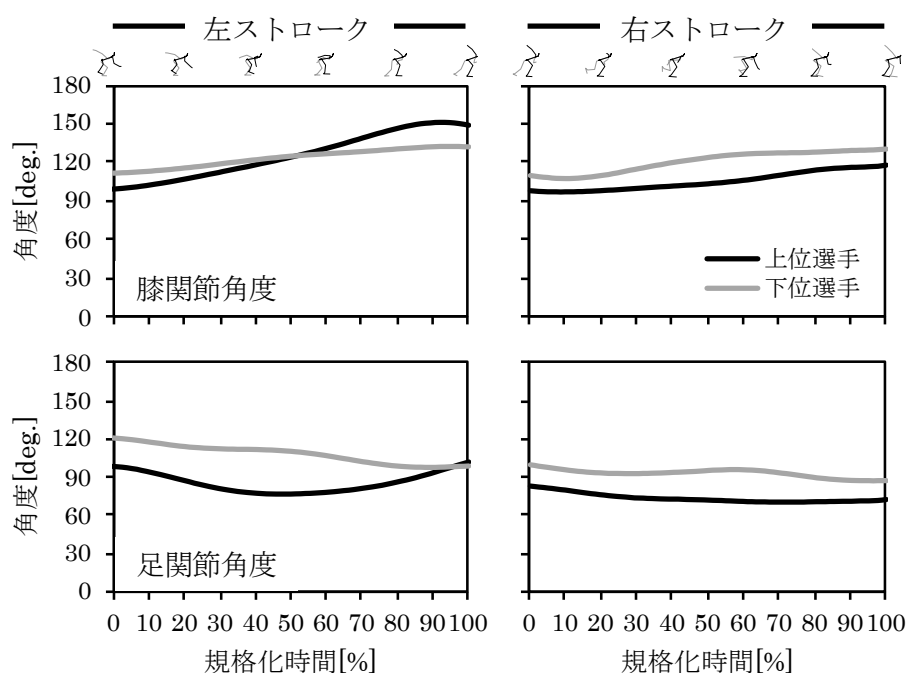


図 3.5 支持脚の関節角度

† 図中のスティックピクチャは、黒実線が右半身、灰実線が左半身を示す。

図 3.6 に、Y'-Z'平面におけるセグメント角度の変化を示した。体幹角度は、左右のストロークを通じて上位選手が下位選手に比べて低い値を示した。大腿角度は、左右のストロークにおいて、両選手ともストローク開始時点から終盤に向けて増大した。大腿角度の動作範囲は、左ストロークでは上位選手(63.2deg.)が下位選手(38.1deg.)に比べて高い値を示したが、右ストロークでは上位選手(25.0deg.)が下位選手(30.7deg.)に比べて低い値を示した。下腿角度は、左右のストロークで動態が異なっており、左ストロークでは 0%時点から 60%時点、および 100%時点において上位選手が下位選手に比べて低い値を示したが、60%時点から 90%時点までは上位選手が下位選手に比べて高い値を示した。一方、右ストロークではストロークを通じて上位選手が下位選手に比べて低い値を示した。また、下腿角度の動作範囲は、左右のストロークにおいて上位選手(左, 17.5deg.; 右, 6.6deg.)が下位選手(左, 19.1deg.; 右, 9.0deg.)に比べて低い値を示した。

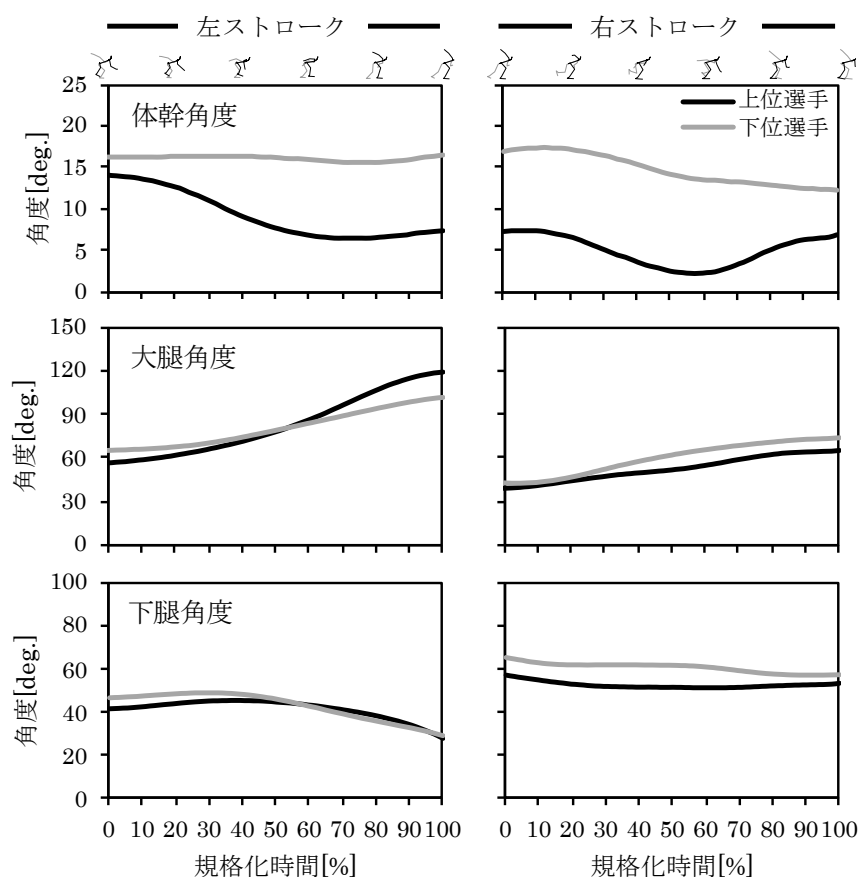


図 3.6 支持脚のセグメント角度

† 図中のスティックピクチャは、黒実線が右半身、灰実線が左半身を示す。

3. 側方傾斜角度に関する結果

図 3.7 に、X'-Z'平面における側方傾斜角度の変化を示した。左ストロークにおける身体および下腿傾斜角度は、ストロークを通じて上位選手が下位選手に比べて高い値を示した。また、左ストロークにおける下腿傾斜の動態は、上位選手が 60%時点以降に急激に増大したが、下位選手はストローク開始時点から終盤に向けて増大するように変化した。一方、右ストロークにおける身体傾斜角度は、ストローク開始時点では上位選手が下位選手に比べて低い値を示したが、20%時点以降は上位選手が下位選手に比べて高い値を示した。右ストロークにおける下腿傾斜角度は、ストロークを通じて上位選手が下位選手に比べて高い値を示した。身体傾斜角度の内傾範囲は、左右のストロークにおいて上位選手(左, 17.9deg.; 右, 25.4deg.)が下位選手(左, 10.4deg.; 右, 12.9deg.)に比べて高い値を示した。また、下腿傾斜角度の内傾範囲は、左右のストロークにおいて上位選手(左, 29.1deg.; 右 21.2deg.)が下位選手(左, 20.2deg.; 右, 11.3deg.)に比べて高い値を示した。

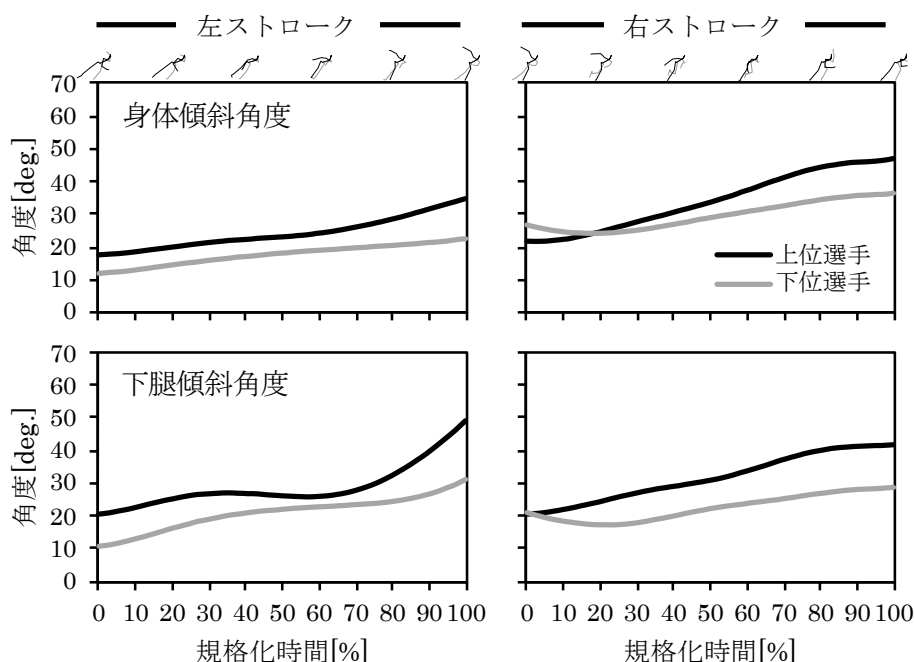


図 3.7 側方傾斜角度

† 図中のスティックピクチャは、黒実線が右半身、灰実線が左半身を示す。

第4節 考察

1. 身体重心の軌跡に関する考察

上位選手の支持脚外踝に対する身体重心は、左ストロークでは前方への移動、右ストロークではカーブ内側方向への移動が大きく移動していることが示された。このことは、ローラースピードスケート競技における競技成績の優れた選手は、ストロークによって身体重心を移動させる方向を変更していることを示唆するものである。これに対して、スピードスケート競技における身体重心の移動距離は、左ストロークでは X 座標成分が約 0.35m, Y 座標成分が約 0.38m であり、右ストロークでは X 座標成分が約 0.42m, Y 座標成分が約 0.35m であったことが報告されている(湯田ほか, 2003)。この研究結果は、スピードスケート競技においても、左ストロークでは身体重心が前方、右ストロークでは身体重心がカーブ内側方向に大きく移動していることを示すものである。しかし、左ストロークにおける身体重心の前方とカーブ内側方向に向かう移動距離の差分は、ローラースピードスケート競技がスピードスケート競技に比べて高い値を示した。このことは、ローラースピードスケート競技における左ストロークでは、身体重心がより前方に移動していることを示唆するものである。この要因として、ローラースピードスケート競技とスピードスケート競技で使用されるトラックの曲率半径が異なることが考えられる。ローラースピードスケート競技では曲率半径 13.42m のトラックが使用されるのに対し、スピードスケート競技では曲率半径 26m のトラックが使用される。曲率半径が小さくなれば、選手に作用する遠心力は大きくなると推察される(対馬ほか, 1998)。また、大きな遠心力に抗するためには、身体重心をよりカーブ内側に移動させる必要があるとされる(van Ingen Schenau et al., 1985, 1987)。そのため、曲率半径の小さなトラックを使用するローラースピードスケート競技では、身体重心をよりカーブ内側に移動させる必要があると考えられる。しかし、左ストロークでは、両選手は身体重心を前方に大きく移動させることが示された(表 3.1)。左ストロークでは、身体重心をカーブ内側に移動させるために、離地した右足を左足の前方を通過させる「レッグオーバー動作」(de Boer et al., 1987)が実施される。レッグオーバー動作により、離地下右足を左足の前方に接地しやすくなると推察される。そのため、左ストロークでは身体重心がカーブ内側方向ではなく、より前方に移動したと考えられる。

以上のことから、ローラースピードスケート競技では、左ストロークでは身体重心を前方、右ストロークではカーブ内側方向に大きく移動させる必要があることが示唆された。

2. 身体重心の前方移動とセグメント角度に関する考察

2.1. ストローク開始時点における滑走姿勢

左右のストローク開始時点の関節角度およびセグメント角度は、上位選手が下位選手に比べて低い値を示した(図 3.5, 図 3.6). これらの結果は、左右のストローク開始時点において、上位選手は各関節をより屈曲させた、低い滑走姿勢であることを示すものである。スピードスケート競技における競技成績の優れた選手は、ストローク開始時点に体幹部を大きく前傾させ(van Ingen Schenau and Bakker, 1980; van Ingen Schenau, 1982), 大腿部をより水平にした滑走姿勢である(van Ingen Schenau et al., 1983)ことが報告されている。また、本研究において上位選手は、左右のストロークを高い滑走速度で滑走していることが示された。これらのことから、ローラースピードスケート競技においても、スピードスケート競技と同様に、ストローク開始時点において体幹部と大腿部をより水平に保った低い滑走姿勢で滑走する必要があることが示唆された。

2.2. プッシュオフ動作に関する考察

左右のストロークにおいて、両選手の膝関節角度は、ストローク開始時点から終了時点に向けて増大することが示された(図 3.5). このとき、体幹角度はストロークを通じて上位選手が下位選手に比べて低い値を示した(図 3.6). これらのことから、上位選手は下位選手に比べて体幹部をより水平にした状態で滑走していることが示唆された。スピードスケート競技では、滑走中に体幹部をより水平位に保つことが空気抵抗の軽減に寄与するため、高い滑走速度を獲得できることが報告されている(van Ingen Schenau, 1982). 本研究において、左右のストロークを高い滑走速度で滑走していることが示された。これらのことから、上位選手は体幹部をより水平に保つことで高い滑走速度を獲得していることが示唆された。また、スピードスケート競技では、体幹部をより水平位に保つことに加え、プッシュオフ動作により身体重心の前方移動を大きくすることが報告されている(結城ほか, 1991). スピードスケート競技短距離種目における優れたカーブ滑走動作の特徴として、大腿部をより前方回転させており、下腿部の前傾位が大きい状態で滑走していることが報告されている(Yuda and Ae, 2002). さらに、スピードスケート競技におけるカーブ滑走中の下腿部の前傾範囲は、競技成績の優れた選手が左ストロークで約 20deg., 右ストロークで約 15deg.であったのに対し、競技成績の劣る選手が左ストロークで約 22deg., 右ストロ

ークで約 20deg.であったことが報告されている(Yuda and Ae, 2002). これらのことは、スピードスケート競技にて優れた競技成績を獲得した選手は、ストロークを通じて下腿部の前傾位が大きい状態で滑走しているものの、下腿部の過度な前傾を抑えながら滑走していると考えられる。そこで、上位選手の支持脚の動態に着目すると、左右のストロークを通じて下腿部の前傾位は大きかったものの(図 3.6), 下腿部を前傾させる範囲は小さいことが示された一方で、大腿部の動作範囲は左ストロークで大きく、右ストロークで小さいことが示された。また、上位選手の身体重心の前方移動は、左ストロークでは大きく、右ストロークでは小さいことが示された(表 3.1). これらのことから、左ストロークにおける上位選手のプッシュオフ動作の動態は、スピードスケート競技と類似しており、ストロークを通じて下腿部の前傾位を大きな滑走姿勢を保ちながら、大腿部をより前方回転させることで、身体重心の前方移動を大きくしていることが示唆された。

一方、右ストロークにおけるプッシュオフ動作の動態に関して、スピードスケート競技では 40%時点以降に大腿部を急激に前方回転させていた(Yuda and Ae, 2002)のに対し、ローラースピードスケート競技ではストロークを通じて一様に前方回転させていることが示された(図 3.6). このような相違が生じた要因として、遊脚側足部の接地位置が両競技で異なることが考えられる。大腿角度は、大腿部の前後傾の度合いを示すものである。スピードスケート競技の右ストロークにおいて、40%時点以降に大腿部を前方回転させるためには、遊脚側足部を前方に接地させる必要があると推察される。また、大腿部を前方回転させることで、身体重心の前方移動は大きくなる。そのため、スピードスケート競技では、遊脚側足部をより前方で接地させることで大腿部の前方回転が大きくなり、身体重心の前方移動が大きくなったと考えられる。これに対し、カーブ内側方向に遊脚側足部を接地させた場合、身体重心はカーブ内側方向に大きく移動するものと推察される。また、身体重心がよりカーブ内側に移動すると、獲得される地面反力は摩擦円錐を外れるように作用するため、ウイールが横滑りする原因となると考えられる。本研究において、両選手とも右ストロークにおける身体重心のカーブ内側方向への移動が左ストロークに比べて大きいことが示された(表 3.1). また、ローラースピードスケート競技にて使用されるトラックの曲率半径は、スピードスケート競技に比べて小さい。曲率半径が小さくなると、選手に作用する遠心力は大きくなる(対馬ほか, 1998). そのため、ローラースピードスケート競技では、大きな遠心力に抗するために身体重心をカーブ内側方向に移動させたものと考えられる。これらのことは、大きな遠心力に抗するために身体重心をカーブ内側方向に移動させたことでウイ

ールが横滑りしやすくなり、大腿部の前方回転が小さくなったため、大腿部が一様に前方回転するように変化したことを示唆するものである。

3. 身体重心の側方移動と側方傾斜角度の関係

カーブ区間では、選手をカーブ外側に押し出すように遠心力が作用するため、遠心力に抗するために身体を内傾させて大きな求心力成分を獲得しながら滑走する必要があるとされる(Yuda et al., 2004)。スピードスケート競技では求心力成分を評価する指標として、身体傾斜角度と下腿傾斜角度が挙げられている(湯田ほか, 2003)。プッシュオフ動作によって高い求心力成分を獲得するためには、身体と下腿部をより内傾させる必要があると報告されている(湯田ほか, 2003)。本研究において、右ストロークにおける身体傾斜角度を除き、上位選手がストロークを通じて身体および下腿傾斜角度が高い値を示した(図 3.7)。また、右ストロークの身体傾斜角度に関して、20%時点以降は上位選手の身体傾斜角度が高い値を示した(図 3.7)。これらのことは、上位選手は左右のストロークにおいて、身体と下腿部をより内傾させながら滑走していることが示唆するものである。また、右ストロークにおいて、下位選手は身体と下腿部の内傾位が小さくなるように滑走していることが示された(図 3.7)。スピードスケート競技では、身体と下腿部をより内傾させることが高い求心力を獲得するために必要であるとされている(湯田ほか, 2003; Yuda et al., 2004)。しかし、右ストロークにおける下位選手の身体と下腿部の内傾の減少は、求心力を低下させるため、滑走速度の増大に貢献しないと考えられる。また、左右のストロークにおける身体と下腿部の内傾範囲は、上位選手が下位選手に比べて高い値を示した。左右のストロークにおいて、上位選手が高い滑走速度で滑走していたことを踏まえると、ローラースピードスケート競技においても、スピードスケート競技と同様に、身体と下腿部をより内傾させながら滑走することで、高い求心力を獲得し、遠心力に抗する必要があることが示唆された。

身体と下腿部の内傾の動態に関して、スピードスケート競技では、ストロークにおける身体と下腿部の内傾範囲はほぼ一致するのに対し(湯田ほか, 2003)、ローラースピードスケート競技では、身体の内傾範囲が下腿部に比べて高い値を示した。とくに、左ストロークにおいて、上位選手は下腿部を 70%時点まで緩やかに内傾させていたが、身体はストロークを通して内傾させるように滑走することが示された。身体傾斜角度は、身体重心がカーブ内側に移動することで増大する。そのため、ローラースピードスケート競技において上位選手は、下腿部を内傾させる前に、身体重心をカーブ内側に移動していると考えられる。左

ストロークにおいて身体の内傾が先行した要因として、上位選手は体幹部をカーブ内側に側屈(以下、「内側屈」とする)させていることが推察される。また、ローラースピードスケート競技において体幹部の内側屈が大きくなる要因として、スピードスケート競技とローラースピードスケート競技で使用する道具が異なることが考えられる。スピードスケート競技では、曲率のあるブレードが曲率運動することで滑走する。ブレードの曲率は、ブレードの底の曲率である「ロック」と、ブレード自体の曲率である「曲げ」に分類される。なお、「曲げ」は、カーブの曲率と同方向の曲率である。これに対して、ローラースピードスケート競技では、側面に曲率のあるウイールが曲線運動することによって滑走する。ただし、ウイールは曲率のないフレームで固定されているため、カーブ区間を滑走する際には、自転車のハンドル操作のように、ウイールの先端をカーブ内側に転換する必要がある。このとき、体幹部がカーブ内側に大きく側屈したことで身体重心もカーブ内側に大きく移動したため、身体の内傾度合いが下腿部に比べて大きくなったと考えられる。また、カーブ区間では遠心力に抗するために、プッシュオフ動作により身体重心をカーブ内側に転換する必要がある(van Ingen Schenau et al., 1985, 1987)。遠心力は、身体質量と滑走速度を 2 乗した値を曲率半径で除することによって算出される。第 60 回東日本ローラースケートスピードスケート選手権大会で使用されたトラックの曲率半径は 16.8m であり、スピードスケート競技で使用されるトラックの曲率半径は 26m であった。また、カーブ区間における平均滑走速度に関して、本研究における上位選手は 12.2m/s であったのに対し、スピードスケート競技における競技成績の優れた選手は 13.1m/s であった(湯田ほか, 2003)。ここで、両選手の身体質量が等しいと仮定すれば、選手に作用する遠心力は、ローラースピードスケート競技がスピードスケート競技に比べて約 1.3 倍大きくなる。そのため、ローラースピードスケート競技では、カーブ区間において、より身体を内傾させながら滑走する必要がある必要があると考えられる。これらのことから、ローラースピードスケート競技では遠心力に抗するために体幹部を内側屈させることで、身体をより内傾させていることが示唆された。

第5節 結論

本研究の目的は、国内ローラースピードスケート選手のフラットトラックにおけるカーブ滑走動作のキネマティクスを明らかにすることであった。本研究で得られた国内ローラースピードスケート選手の優れたカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴は以下の通りである。

- 1) 左ストロークでは身体重心の前方移動を大きくしているが、右ストロークではカーブ内側に向かって身体重心を大きく移動させていた。
- 2) 左右のストローク開始時点にて、体幹部と大腿部をより水平に保った低い滑走姿勢で滑走していた。
- 3) 左ストロークにおけるプッシュオフ動作の動態に関して、支持脚下腿部の過度な前傾を抑えて大腿部をより前方回転させることで、身体重心の前方移動を大きくしていた。
- 4) 左右のストロークにおいて、身体と下腿部をより内傾させていた。

以上のことより、カーブ滑走動作の指導を行う際には、ストローク開始時点にて体幹部と大腿部をより水平に保つことができるか、という問題に着目する必要があることが示唆された。また、左ストロークでは下腿部の過度な前傾を抑えたうえで、大腿部をより前方回転させることで身体重心の前方移動を大きくする必要があることが示唆された。一方、右ストロークでは、遊脚側足部をよりカーブ内側に接地し、身体と下腿部をより内傾させる必要があることが示唆された。

第4章 ローラースピードスケート競技 300m タイムトライアル種目における優れたカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴

第1節 緒言

ローラースピードスケート競技 300mTT にて優れた競技成績を獲得した選手は、カーブ区間において高い滑走速度を獲得することで、滑走時間を短縮させていることが示された(第2章)。スピードスケート競技では、高い滑走速度を獲得するためには、下腿部の前傾位と大腿部の前方回転を大きくすることで身体重心を前方に移動させる必要があると報告されている(結城ほか, 1991; Yuda and Ae, 2002)。また、カーブ滑走中は大きな遠心力に抗するために身体と下腿部をより内傾させながら滑走する必要があることが報告されている(湯田ほか, 2003; Yuda et al., 2004)。さらに、競技成績の優れた選手はカーブ滑走動作において、ストローク前半にて股関節と膝関節伸展トルク、ストローク後半にて股関節外転トルク、膝関節伸展トルクを大きくしていることが報告されている(湯田ほか, 2005)。このようにスピードスケート競技では、高い滑走速度を獲得するためのカーブ滑走動作の特徴が明らかにされてきた。とくに、滑走動作のキネマティクスの特徴は、選手の滑走動作を評価する指標となる。また、競技成績の向上に資するカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を明らかにするためには、国際水準で優れた競技成績を獲得した選手を分析する必要があると考えられる。そこで、本研究の目的は、世界選手権大会にて優れた競技成績を獲得した選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を明らかにすることとした。

第2節 方法

1. 分析対象者

本研究では、2016 年 9 月 10 日に中国の南京で開催された世界選手権大会のシニア男子 300mTT を分析対象とした。なお、シニア男子 300mTT に出場した 52 名のうち、決勝進出者 12 名と下位選手 9 名から、研究参加の同意を得た。本研究では決勝進出者 12 名を上位群(年齢, 24.0 ± 2.7 歳; 身長, $1.77 \pm 0.06\text{m}$; 体重, $73.0 \pm 5.2\text{kg}$), 予選敗退者 9 名を下位群(年齢, 24.9 ± 4.1 歳; 身長, $1.78 \pm 0.04\text{m}$; 体重, $75.2 \pm 5.7\text{kg}$)と定義した。また、分析対象としたレースは、上位群は決勝レース、下位群は予選レースとした。

2. 映像データの収集

本研究では、第 2 カーブ区間の入口と出口付近に設置した 2 台の高速度カメラ(EX-100Pro, CASIO 社製, 日本)を用いて、第 2 カーブ区間中央から出口を滑走する分析対象者のカーブ滑走動作を撮影した。なお、2 台の高速度カメラの設定は、毎秒 240 フレーム、露出時間 1/2000 秒とした。傾斜面の座標値の算出は、滑走路に 187 点の較正点を付し、角度計(SLANT100YE, TAJIMA 社製, 日本)を用いて各較正点間の傾斜角度を測定した後、測定した各較正点間の距離と傾斜角度から、三角比を用いて較正点間の水平距離と高さを算出した。構築した 3 次元計測範囲は、幅 4.89m×長さ 12.40m×高さ 2.89m であり、それぞれ X, Y, Z 軸とした(図 4.1, 図 4.2)。また、3 次元計測範囲内の傾斜角度は、カーブ区間中央から出口にかけて 8 度から 4 度であった。2 台の高速度カメラは、それぞれの高速度カメラに得られた映像から、右ウイールが離地した瞬間を目視にて確認し同期した。

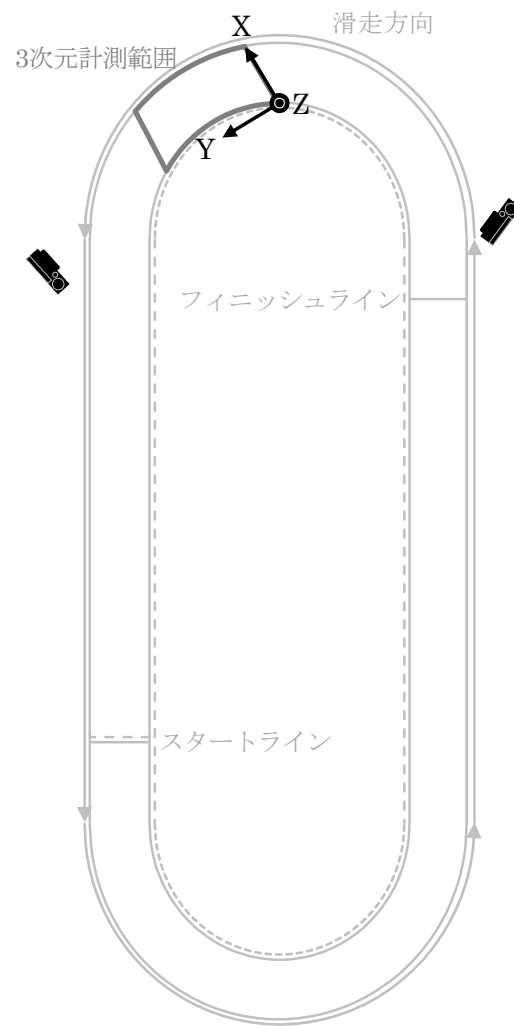


図 4.1 実験設定図と 3 次元計測範囲

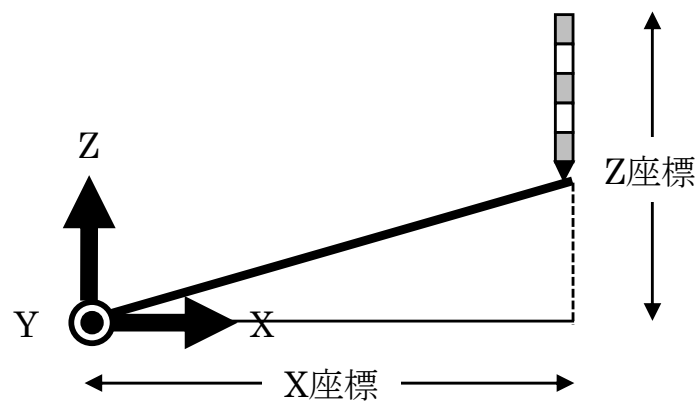


図 4.2 傾斜面における 3 次元座標値

3. 分析項目と算出方法

撮影された映像は、3次元動作解析システム(Frame-DIAS V, DKH 社製, 日本)を用いて、身体各部位 21 点をデジタイズした。デジタイズされた座標値は、3次元 DLT 法により実長換算し、身体各部位の 3次元座標値を算出した。算出された 3次元座標値は、残差分析法(Wells and Winter, 1980)により最適遮断周波数(11.5~25.9Hz)を決定し、4次のバターワースローパスフィルタを用いて平滑化した。平滑化された 3次元座標値から、日本人アスリートの身体部分係数(阿江ほか, 1992)を用いて身体重心を算出した後、身体重心位置を時間微分し身体重心速度ベクトルを算出した。さらに、X-Y 平面における身体重心速度ベクトルを Y 軸, X-Y 平面上で Y 軸に直交する軸を X 軸, X'-Y' 平面に直交する軸を Z 軸と定義した。

本研究では、右ウイールの離地から左ウイールの離地までを左ストローク、左ウイールの離地から右ウイールの離地までを右ストロークと定義した(図 4.3)。

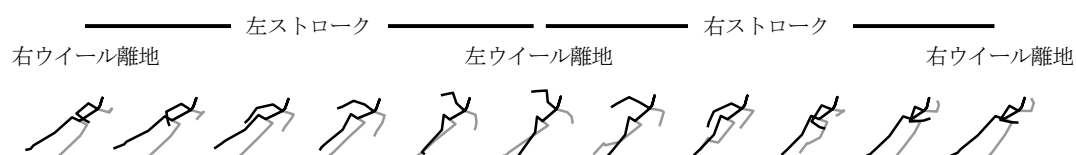


図 4.3 ストロークの定義

分析項目は、300mTT の滑走時間、左右それぞれのストロークにおける滑走速度、ストローク頻度、X'-Y'平面における支持脚外踝に対する身体重心の軌跡(以下、「 D_{com} 」とする)、X'-Z'平面における下腿傾斜角度、Y'-Z'平面におけるセグメント角度(大腿角度、下腿角度)とした。滑走速度は、左右それぞれの身体重心速度の平均値とした。左右それぞれのストローク頻度は、左右それぞれのストロークに要した時間の逆数として算出した。図 4.4 に下腿傾斜角度とセグメント角度の定義を示した。下腿傾斜角度は、下腿部が Z 軸となす角度とし、Z 軸を基準に時計回りへの変化を内傾と定義した。大腿角度は、大腿部が Y 軸となす角度とし、Y 軸を基準に時計周りを正とした。下腿角度は、下腿部は Y 軸となる角度とし、Y 軸を基準に反時計周りを正とした。なお、分析項目の時系列データは、左右それぞれのストローク開始時点が 0%時点、ストローク終了時点が 100%時点となるように、左右それぞれのストロークに要した時間で規格化した。

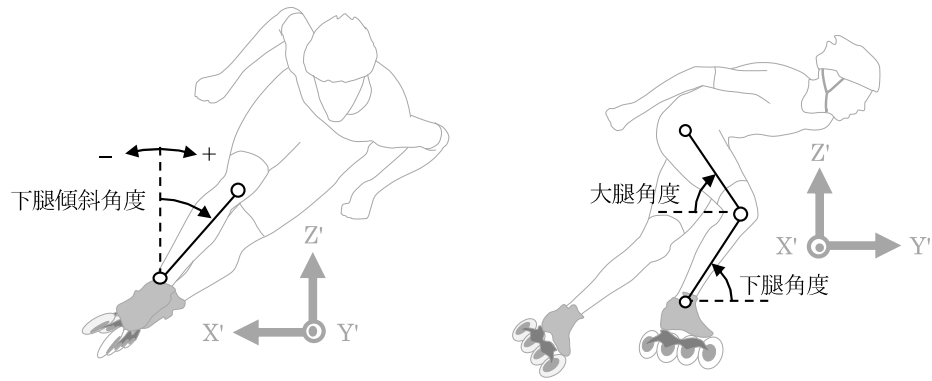


図 4.4 下腿傾斜角度とセグメント角度の定義

4. 統計処理

すべてのデータは、平均値±標準偏差で示した。本研究で得られたデータの統計処理は、統計解析ソフトウェア(SPSS Statistics ver.24, IBM 社製, 日本)を用いて行った。上位群と下位群の 300mTT の滑走時間、滑走速度、ストローク頻度を比較するために、対応のないスチューデント t 検定を用いた。左右それぞれのストロークにおける D_{com} 、下腿傾斜角度、セグメント角度について、上位群と下位群の規格化時間における変数間の比較をするために、群(上位群と下位群)と時間(11 区間(0, 10, 20, ..., 100%))を主要因とする二元配置分散分析を用いた。交互作用がみられた場合には、Bonferroni の方法による多重比較検定を用いた。すべての統計処理について、危険率 5%未満($p < 0.05$)を有意水準とした。

第3節 結果

300mTT の滑走時間に関して、上位群($24.28 \pm 0.24s$)が下位群($25.80 \pm 0.54s$)と比べて有意に低値を示した($p < 0.05$). 右ストロークにおける滑走速度は、上位群が下位群と比べて有意に高値を示した(表 4.1). 左右のストロークにおけるストローク頻度は、上位群が下位群と比べて有意に高値を示した(表 4.1). 図 4.5 に、左右それぞれのストロークにおける D_{com} を示した. 左右のストロークにおいて、 D_{com} の X 座標および Y 座標成分に交互作用はみられず、群の主効果もみられなかった(図 4.5, 表 4.1). 図 4.6 に、 $X'-Z'$ 平面における下腿傾斜角度を示した. 左右のストロークにおいて、下腿傾斜角度に交互作用はみられず、群の主効果もみられなかった(図 4.6, 表 4.1). 図 4.7 に左右それぞれのストロークにおけるセグメント角度を示した. 左ストロークにおける大腿角度に交互作用がみられ、90%-100%時点において、上位群が下位群と比べて低値を示した($p < 0.05$). 右ストロークにおける大腿角度に交互作用はみられず、群の主効果がみられた($p < 0.05$). 右ストロークにおける大腿角度は、上位群が下位群と比べて有意に低値を示した(表 4.1). 左右それぞれのストロークにおける下腿角度に交互作用がみられず、群の主効果がみられた($p < 0.05$). 左右のストロークにおける下腿角度は、上位群が下位群と比べて有意に低値を示した(表 4.1).

表 4.1 分析項目の平均値

分析項目	左ストローク			右ストローク		
	上位群	下位群	有意差	上位群	下位群	有意差
滑走速度 [m/s]	11.1 ± 0.3	10.7 ± 0.3	n. s.	10.0 ± 0.1	9.5 ± 0.1	上位 > 下位 **
滑走距離 [m]	1.72 ± 0.18	1.85 ± 0.21	n. s.	1.70 ± 0.11	1.73 ± 0.15	n. s.
ストローク頻度 [Hz]	3.6 ± 0.5	3.2 ± 0.3	上位 > 下位 *	3.2 ± 0.2	3.0 ± 0.2	上位 > 下位 **
X座標上の支持脚外踝と身体重心の距離 [m]	0.16 ± 0.04	0.15 ± 0.05	n. s.	0.23 ± 0.03	0.22 ± 0.04	n. s.
Y座標上の支持脚外踝と身体重心の距離 [m]	0.27 ± 0.04	0.29 ± 0.04	n. s.	0.31 ± 0.05	0.30 ± 0.04	n. s.
角度変数						
大腿角度 [deg.]	49.6 ± 1.8	53.5 ± 2.1	n. s.	69.0 ± 1.5	73.5 ± 1.7	上位 < 下位 *
下腿角度 [deg.]	62.9 ± 1.6	68.7 ± 1.9	上位 < 下位 *	62.3 ± 1.4	66.7 ± 1.6	上位 < 下位 *
下腿傾斜角度 [deg.]	47.4 ± 1.4	46.7 ± 1.6	n. s.	43.7 ± 1.1	42.3 ± 1.2	n. s.

* 左右のストロークにおける分析項目の平均値を示した, 有意差は, 「*, p<0.05」, 「**, p<0.01」で示した.

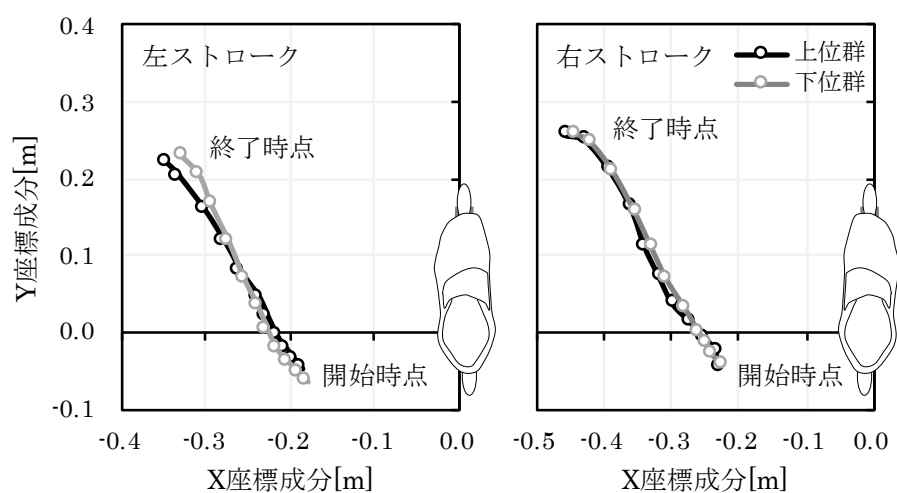


図 4.5 プッシュオフ動作による身体重心の移動様態

† 左右のストロークにおける支持脚外踝に対する身体重心の軌跡を水平面に投影した。図中の原点は、左ストロークでは左足外踝、右ストロークでは右足外踝である。また、10%ストロークごとに上位群には黒色枠線の丸印、下位群には灰色枠線の丸印を付した。

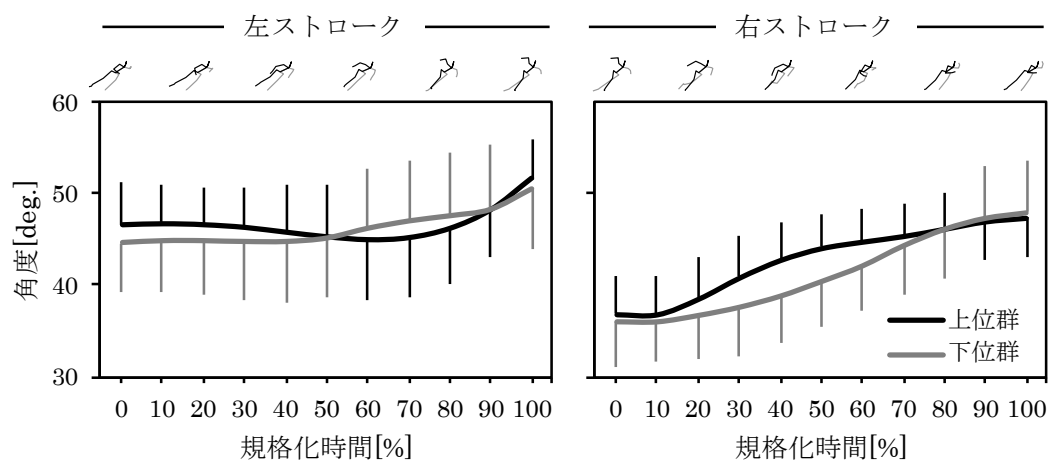


図 4.6 下腿傾斜角度

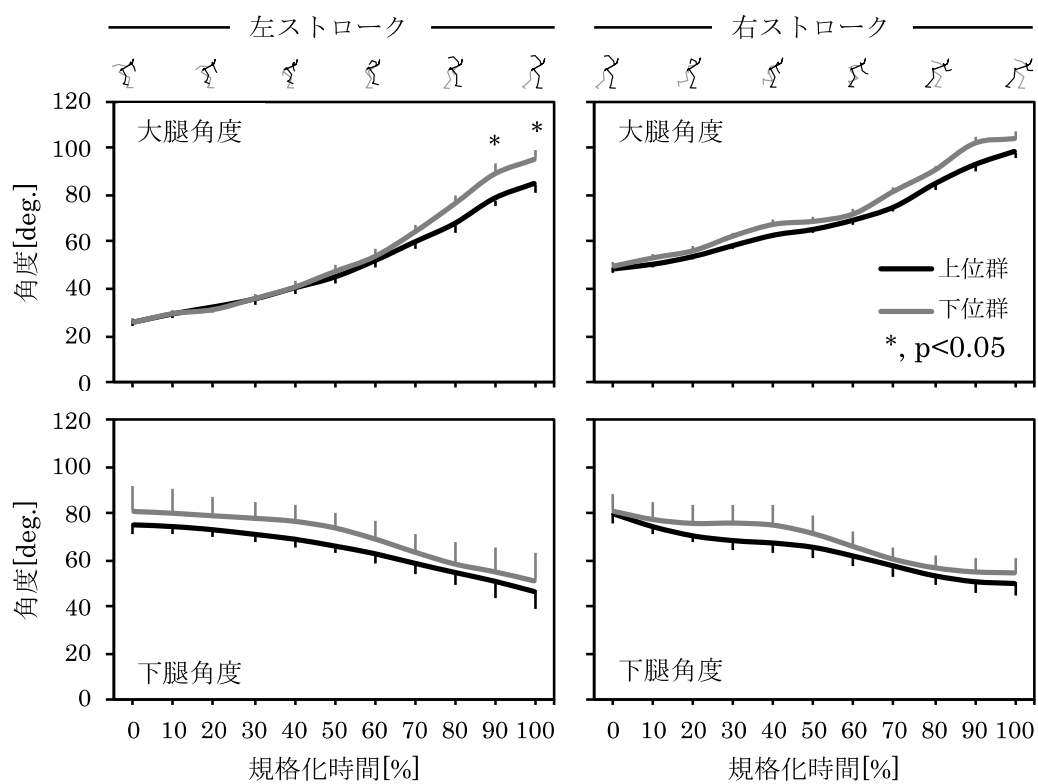


図 4.7 セグメント角度

第4節 考察

1. 下腿部の内傾に関する動態に関する考察

本研究では、右ストロークにおいて上位群が、高い滑走速度を維持していることが示された(表 4.1). スピードスケート競技 500m 種目では、遠心力によって選手がカーブ外側に移動したことで、カーブ区間の滑走速度が低下した事例が報告されている(湯田ほか, 2006). とくに、バンクトラックではカーブ外側への移動により傾斜を登るように滑走するため、フラットトラックと比べて失速の度合いは大きくなると推察される. 遠心力に抗するためには、高いストローク頻度で滑走すること(結城ほか, 1999; Yuda and Ae, 2002; 湯田ほか, 2003)に加え、プッシュオフ動作と下腿部の内傾により身体重心をカーブ内側に移動させる必要がある(van Ingen Schenau et al., 1985, 1987; 湯田ほか, 2003; Yuda et al., 2004). 本研究において、上位群は左右のストロークを高いストローク頻度で滑走していたが(表 4.1), D_{com} と下腿傾斜角度は下位群と類似することが示された(表 4.1, 図 4.6). これらの結果は、スピードスケート競技のカーブ滑走動作に関する研究成果と異なるものである. スピードスケート競技とローラースピードスケート競技のカーブ滑走動作が異なる要因として、曲率半径の大きさの違いが考えられる. ローラースピードスケート競技で使用されるトラックの曲率半径はスピードスケート競技と比べて小さいため、ローラースピードスケート競技において作用する遠心力が大きくなる事例が報告されている(第3章). また、第2章では曲率半径が 16.80m のフラットトラックにおけるカーブ滑走動作を対象にしていたが、本研究の対象は曲率半径が 13.42m のバンクトラックにおけるカーブ滑走動作であった. 身体質量と滑走速度が等しい選手が、これらのトラックを滑走した場合、バンクトラックにおける遠心力は大きくなると推察される. ローラースピードスケート競技のフラットトラックにおいて、競技成績の優れた選手は下腿部をより内傾させながら滑走していたことが報告されている(第3章). この研究成果を踏まえると、ローラースピードスケート競技では下腿部をより内傾させながらカーブ区間を滑走する必要があると考えられる. しかし、本研究では左右のストロークにおいて、上位群と下位群の下腿部の内傾度合いは類似していることが示された(表 4.1, 図 4.6). バンクトラックではカーブ区間が傾斜しているため、垂直抗力の水平成分はフラットトラックと比べて、よりカーブ内側に作用する. このことは、バンクトラックでは、身体重心をよりカーブ内側に移動させやすいことを意味している. そのため、バンクトラックでは下腿部を内傾させるほど、身体重心をカーブ内側に移動さ

せ、曲率に沿うような軌跡で滑走できると推察される。しかし、下腿部を内傾させるほど、地面反力が摩擦円錐から外れるように作用するため、ウイールが横滑りする要因となる。ウイールの横滑りは転倒の要因となるため、カーブ区間ではウイールを横滑りさせることなく滑走する必要があるといえる。

以上のことから、左右のストロークにおいて、上位群はウイールの横滑りを防ぐために下腿部をより内傾させずに滑走していたが、高いストローク頻度で滑走し、身体重心のカーブ外側への移動を抑えていたため、右ストロークにおいて高い滑走速度で滑走できたと考えられる。

2. プッシュオフ動作に関する考察

プッシュオフ動作は、矢状面における大腿部と下腿部の動態によって評価される(Yuda and Ae, 2002; 湯田ほか, 2003)。また、スピードスケート競技短距離種目において競技成績が優れた選手は、大腿部の前方回転と下腿部の前傾が大きいことが報告されている(結城ほか, 1992; Yuda and Ae, 2002)。また、スピードスケート競技長距離種目においては、競技成績の優れた選手は大腿部の前方回転を大きくし、身体重心をより前方に移動させることで、高い滑走速度を獲得していることが報告されている(湯田ほか, 2003; Yuda et al., 2005)。スピードスケート競技におけるこれらの研究成果は、高い滑走速度を獲得するためには、大腿部の前方回転を大きくし、身体重心をより前方に移動させる必要があることを示唆するものである。本研究では、左右のストロークにおいて D_{com} の移動距離は両群で類似したが(表 4.1)、上位群の大腿部の前方回転が小さいことが示された(図 4.7, 表 4.1)。また、右ストロークにおける滑走速度は両群で類似したが、左ストロークにおいて上位群が高い滑走速度で滑走していることが示された(表 4.1)。これらのことは、上位群が右ストロークにおいて高い滑走速度で滑走していたのは、大腿部の前方回転によるものではないことを示唆している。滑走速度は、 D_{com} とストローク頻度の積として決定される。左右のストロークにおいて上位群は高いストローク頻度で滑走していたことから、高いストローク頻度で滑走することが高い滑走速度の獲得に影響していると考えられる。スピードスケート競技短距離種目では、カーブ区間を高いストローク頻度で滑走していた選手は、下腿部をより前傾させるながら滑走していることが報告されている(Yuda and Ae, 2002)。また、下腿部をより前傾させながら滑走している選手は、ストロークの早い段階からプッシュオフ力を獲得することが示唆されている(Yuda and Ae, 2002)。プッシュオフ力は選手がプッシュオフ動作

により発揮する力であり、スピードスケート競技ではプッシュオフ動作により身体重心を前方に移動させる。そのため、スピードスケート競技に関するこれらの研究から、プッシュオフ力は身体重心を前方に素早く移動させるための力といえる。下腿部の前傾が身体重心を素早く前方に移動させるための動作であることを踏まえると、下腿部をより前傾させながら滑走していた上位群の滑走速度は高くなると推察される。しかし、本研究では左ストロークにおいて、上位群は下腿部をより前傾させながら滑走していたが、両群の滑走速度は類似することが示された(表 4.1, 図 4.7)。このことは、上位群は下腿部をより前傾させることで、高い滑走速度を獲得しているわけではないことを示唆するものである。下腿部がより前傾すると支持脚側足部の踵が挙上しやすくなるため、支持脚側足部が離地するまでに要する時間が短縮、つまりストローク頻度が高くなると推察される。また、カーブ滑走動作は身体重心を常にカーブ内側に移動させる滑走動作であることから、高いストローク頻度で滑走することは、身体重心をカーブ内側に移動する回数が増大することを意味している。本研究において上位群は、左右のストロークを高いストローク頻度で滑走していたため(表 3.1)、下位群と比べて身体重心をカーブ内側に移動できる回数が増大すると考えられる。これにより、傾斜面を登るような滑走を防ぐことができるため、滑走速度の失速度合いは小さくなると推察される。

以上のことから、左右のストロークにおいて上位群は、下腿部をより前傾させることで、高いストローク頻度で滑走しており、これによってカーブ外側への移動を抑えていたために、右ストロークにおいて高い滑走速度で滑走していたことが示唆された。

第 5 節 結論

本研究の目的は、ローラースピードスケート競技 300mTT において競技成績の優れた選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を明らかにすることであった。本研究で得られた結果は以下の通りであった。

- 1) 上位群は、右ストロークを高い滑走速度で滑走していた。
- 2) 上位群は、左右のストロークを高いストローク頻度で滑走していた。
- 3) 両群の身体重心の移動距離は、類似していた。
- 4) 両群は、左右のストロークを通じて同程度下腿部を内傾させていた。
- 5) 左右のストロークにおいて、上位群は大腿部の前方回転が小さくし、下腿部をより前傾させながら滑走していた。

以上のことから、ローラースピードスケート競技 300mTT において競技成績の優れた選手は、1) 高いストローク頻度で滑走し、身体重心のカーブ外側への移動を抑えることで、右ストロークを高い滑走速度で滑走していた、2) 下腿部をより内傾させるのではなく、高いストローク頻度で滑走することで、身体重心をカーブ内側に移動させていた、3) 下腿部をより前傾させることで、高いストローク頻度で滑走していることが示唆された。

第5章 ローラースピードスケート競技バンクトラックにおける日本人選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴

第1節 本研究の目的

世界選手権大会で実施される 300mTT において、日本人選手が決勝に進出した事例はない。300mTT の滑走速度を短縮するためには、C2(図 2.1)における滑走様態が重要であることが明らかとなった(第2章)。C2 ではキャリングとカーブ滑走動作が実施されるが、高い滑走速度を維持するためには、カーブ滑走動作によって滑走速度の低下を抑制する必要があると考えられる。しかし、バンクトラックにおける日本人選手のカーブ滑走動作を定量的に検討した研究は見当たらない。日本人選手の国際的水準での競技成績を向上させるためには、世界一流選手と日本人選手のカーブ滑走動作の類似点と相違点を把握したうえでトレーニングを検討する必要がある。そこで、本章では、日本人選手と世界一流選手のカーブ滑走動作を比較し、日本人選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を検討することとした。

第2節 方法

1. 分析対象者

本研究では、2016 年 9 月 10 日に中国の南京市において開催された世界選手権大会男子 300m タイムトライアル種目(以下、「300mTT」と略す)に出場した選手のうち、決勝進出者 12 名(年齢, 24.9 ± 4.1 歳; 身長, 1.77 ± 0.06 m; 体重, 73.0 ± 5.2 kg)と、予選敗退した日本人選手 3 名(年齢, 18.7 ± 0.5 歳; 身長, 1.69 ± 0.00 m; 体重, 64.3 ± 3.1 kg)を分析対象者とした。本研究では、決勝進出者 12 名を世界一流選手群、日本人選手 3 名を日本人選手群と定義した。なお、本研究において用いた映像は、世界一流選手群が決勝、日本人選手群が予選の映像とした。映像データの収集に先立ち、選手の指導者および選手に、口頭で研究の趣旨を説明したうえで、書面にて研究参加の同意を得た。

2. 映像データの収集

図 5.1 に、本研究における実験設定図を示した。映像データの収集は、スタートから 100m 地点通過直後のカーブ区間において実施した。競技会に先立ち、カーブ中央から出口にかけて、傾斜面に 187 点の較正点を付した後、較正点間の角度を角度計(SLANT100YE, TAJIMA 社製, 日本)を用いて計測した。計測された較正点間の角度は、 $4-8\text{deg}$.であった。これらの角度から三角比を用いて、水平面上の長さ、および水平面からの高さを算出した。その結果、本研究における 3 次元計測範囲は、幅 $4.89\text{m} \times$ 長さ $12.40\text{m} \times$ 高さ 2.89m であり、それぞれ X 軸, Y 軸, Z 軸とした(図 5.1, 図 5.2)。その後、カーブ入口と出口付近に 2 台の高速度カメラ(EX-100Pro, CASIO 社製, 日本)を固定し、3 次元計測範囲内を滑走する分析対象者のカーブ滑走動作を撮影した。なお、高速度カメラの設定は、毎秒 240 フレーム、露出時間 $1/2000$ 秒であった。

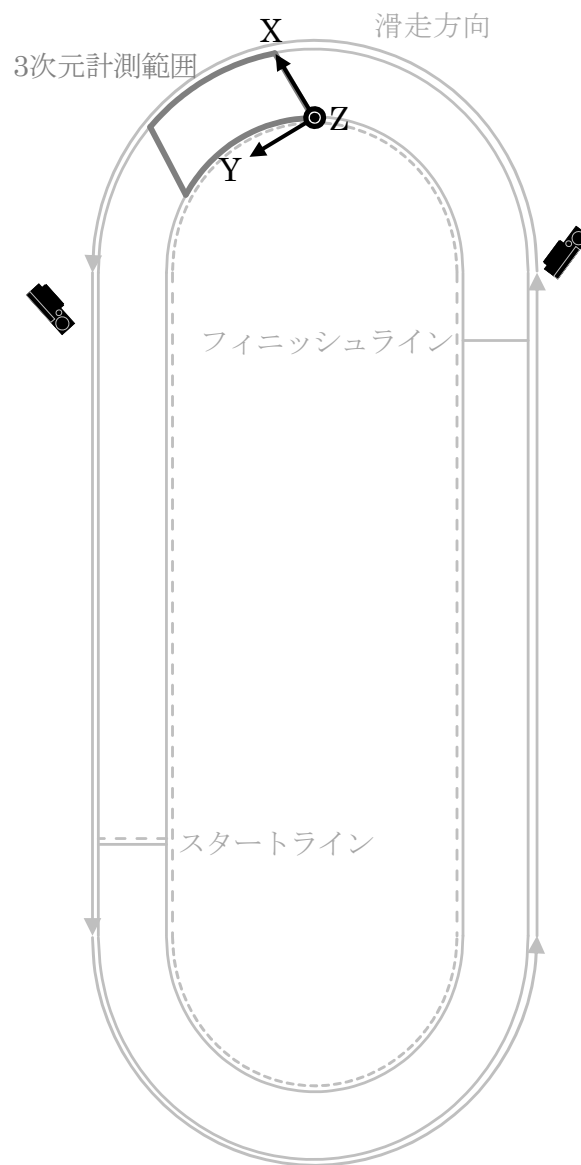


図 5.1 実験設定図と 3 次元計測範囲

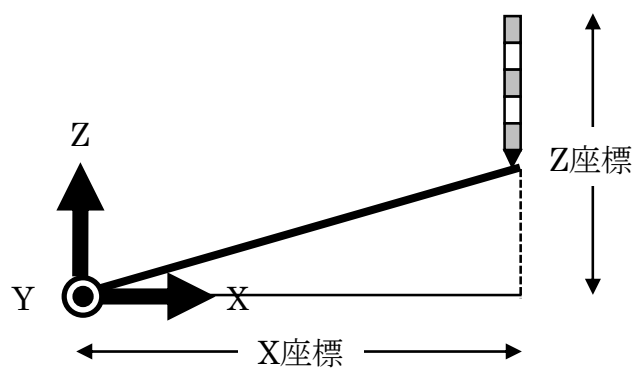


図 5.2 傾斜面における 3 次元座標値

3. ストロークおよびサイクルの定義

図 5.3 に、本研究におけるストロークおよびサイクルの定義を示した。インラインスケートに装着されたウイールの離地を基準として、右ウイールの離地から左ウイールの離地までを左ストローク、左ウイールの離地から右ウイールの離地までを右ストロークと定義した。

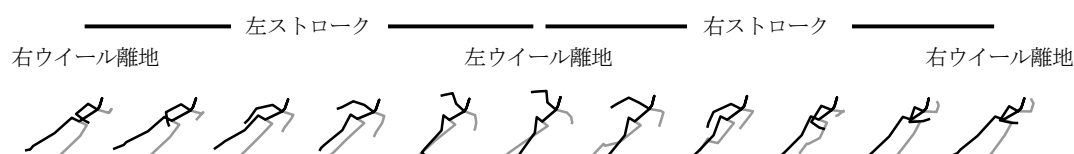


図 5.3 ストロークの定義

4. 算出項目および分析項目

撮影された映像データから、3次元動作解析システム(Frame-DIAS V, DKH 社製, 日本)を用いて、身体各部位 21 点をデジタイズした後、デジタイズされた座標値を 3 次元 DLT 法により実長換算し、身体各部位の 3 次元座標値を算出した。さらに、算出された 3 次元座標値は、残差分析法(Wells and Winter, 1980)により最適遮断周波数(12.48–26.18Hz)を決定し、4 次のバターワース型ローパスフィルタにより平滑化した。その後、阿江ほか(1992)の身体部分慣性係数を用いて身体重心位置を算出し、身体重心位置を時間微分することにより身体重心速度ベクトルを算出した。本研究では、X-Y 平面上の身体重心ベクトルを Y 軸、X-Y 平面上で Y 軸に直交する軸を X 軸、X'-Y'平面に直交する軸を Z 軸とする移動座標系を構築した。

分析項目は、ストローク開始および終了時点におけるカーブの曲率中心と身体重心の距離の変位量(以下、「 D_{cc-com} 」と略す)、滑走距離、滑走速度、ストローク頻度、片足および両足接地時間、X'-Z'平面上の側方傾斜角度(身体傾斜角度、下腿傾斜角度)、Y'-Z'平面上のセグメント角度(大腿角度、下腿角度)とした。図 5.4 に、(A) D_{cc-com} 、(B)側方傾斜角度、(C)セグメント角度の定義を示した。 D_{cc-com} は、X-Y 平面上においてカーブの曲率中心と身体重心位置を結ぶ線分の長さのストローク開始時点と終了時点の変位量とした。滑走距離は、X-Y 平面上の身体重心の移動距離、滑走速度は、X-Y 平面上の身体重心速度の平均値とした。ストローク頻度は、ストロークに要した時間の逆数とした。片足接地時間は、左右それぞれのストロークで、ストローク開始時点から左右それぞれの足が接地するまで(以下、「片足接地期」

とする)に要した時間とし、両足接地時間は、左右それぞれの足が接地してからストローク終了時点まで(以下、「両足接地期」とする)に要した時間とした。身体傾斜角度は支持脚外踝と身体重心を結ぶ線分が Z' 軸となす角度とし、下腿傾斜角度は下腿部が Z' 軸となす角度と定義した。また、身体および下腿傾斜角度は、 Z' 軸を基準として時計周りを正とし、正方向への変化を内傾と定義した。セグメント角度に関して、大腿角度は大腿部と Y' 軸がなす角度、下腿角度は下腿部と Y' 軸がなす角度とした。大腿角度は、 Y' 軸を基準として時計周りを正とし、正方向への変化を前方回転、負方向への変化を後方回転とした。また、下腿角度は、 Y' 軸を基準として反時計回りを正とし、正方向への変化を後傾、負方向への変化を前傾と定義した。

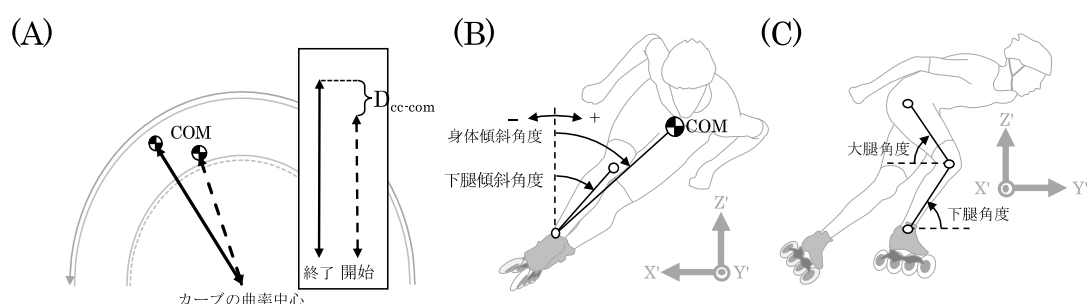


図 5.4 D_{cc-com} , 側方傾斜角度, セグメント角度の定義

† (A)に身体重心とカーブの曲率中心の距離(D_{cc-com}), (B)に側方傾斜角度, (C)にセグメント角度の定義を示した。 D_{cc-com} に関して、図中の実線矢印はストローク終了時点、点線矢印はストローク開始時点における身体重心とカーブの曲率中心の距離を示す。

5. 分析方法

本研究では、被験者 15 名の分析項目に関する数値を高値から順番に並べた際に、1 番目から 3 番目に日本人選手が位置する場合を「世界一流選手群と比べて高い値」、13 番目から 15 番目に位置する場合を「世界一流選手群と比べて低い値」とした。また、日本人選手のカーブ滑走動作の特徴に関して、日本人選手 3 名のうち 2 名が高い値を示した場合を「高い傾向」、低い値を示した場合を「低い傾向」と定義した。

第3節 結果

1. カーブ区間における滑走様態

図 5.5 に、滑走距離およびストローク頻度と滑走速度の関係を示した。滑走距離に関して、日本人選手群は左右のストロークにおいて 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて長い値を示した。ストローク頻度に関して、日本人選手群は左ストロークにて 3 名中 2 名、右ストロークにて 3 名とも世界一流選手群と比べて低い値を示した。滑走速度は、両群とも左ストロークが右ストロークと比べて高い値を示した。日本人選手群の滑走速度は、右ストロークにて 3 名とも世界一流選手群と比べて低い値を示した。

表 5.1 に、左右のストロークにおける D_{cc-com} を示した。 D_{cc-com} は、両群とも左右のストロークにて正の値を示した。また、日本人選手群は左ストロークにて、3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて高い値を示した。

図 5.6 に、左右のストロークにおける片足および両足接地時間を示した。片足接地時間に関して、日本人選手群は左右のストロークにて 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて高い値を示す一方で、1 名が低い値を示し、右ストロークでは 3 名とも世界一流選手群と比べて高い値を示した。両足接地時間に関して、日本人選手群は左右のストロークにて 3 名とも世界一流選手群と比べて高い値を示した。

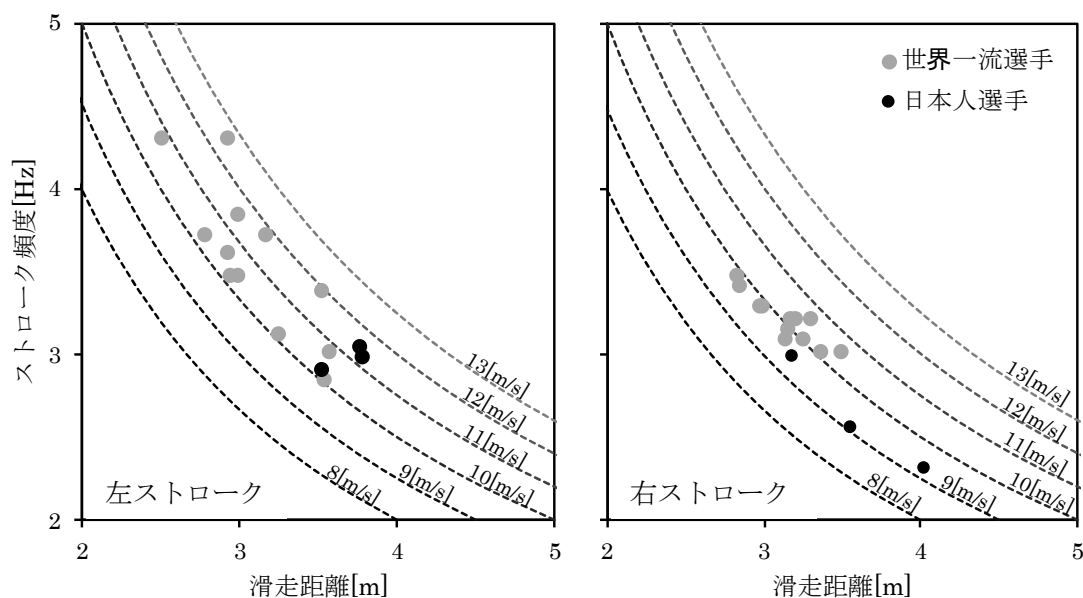


図 5.5 滑走距離、ストローク頻度と滑走速度の関係

表 5.1 左右のストロークにおける $D_{\text{cf-coas}}$

	世界一流選手										日本人選手		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	a b c
左ストローク[m]	0.297	0.499	0.575	0.334	0.642	0.707	0.397	0.393	0.693	0.505	0.411	0.700	0.723 0.594 0.781
右ストローク[m]	0.251	0.413	0.498	0.191	0.796	0.508	0.397	0.233	0.592	0.255	0.277	0.708	0.508 0.235 0.862

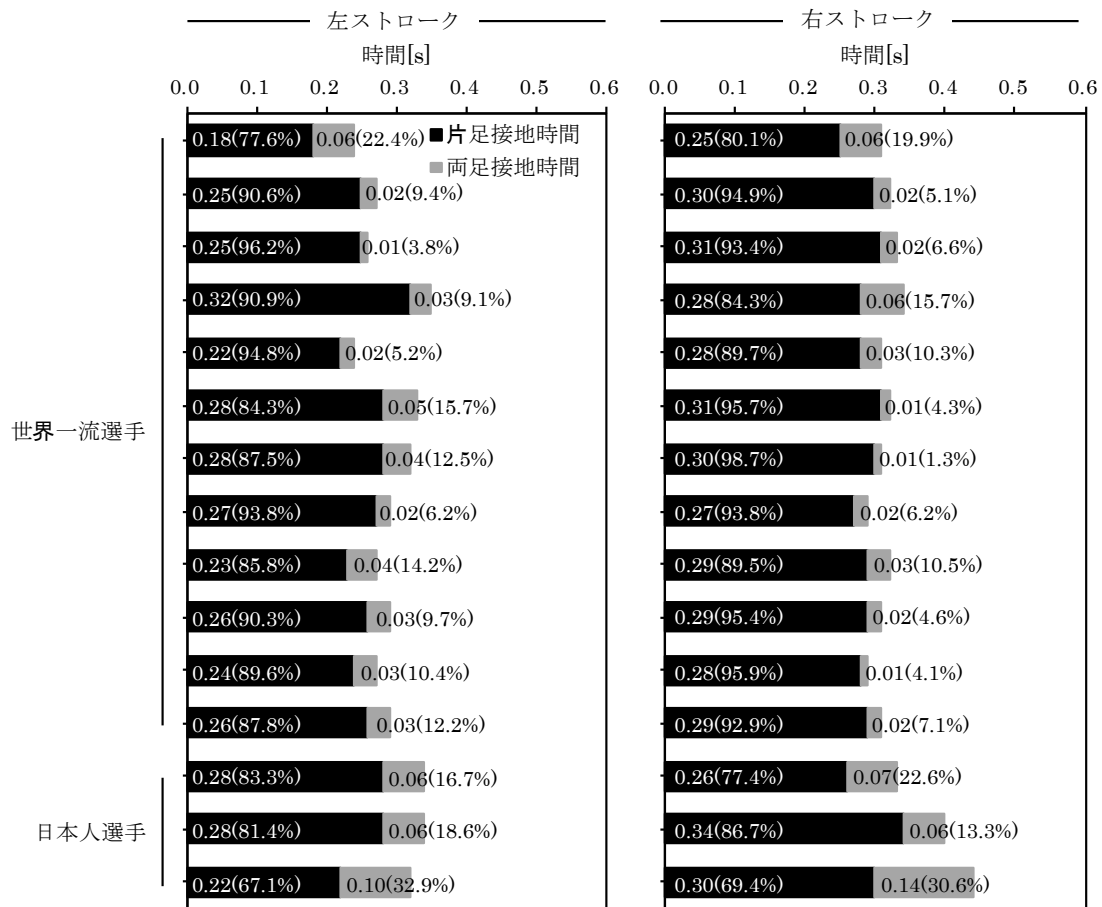


図 5.6 片足および両足接地時間

2. 側方傾斜角度に関する結果

図 5.7 に、左右のストロークにおける側方傾斜角度の変化を示した。身体傾斜角度に関して、日本人選手群は左ストロークの 60%時点から 90%時点にて 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて高い値を示した。右ストロークでは、50%時点から 60%時点にて日本人選手群の 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて低い値を示す一方で、1 名が高い値を示した。下腿傾斜角度に関して、日本人選手群は左ストロークの 0%時点から 30%時点にて 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて低い値を示し、90%時点にて 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて高く、100%時点にて 3 名とも世界一流選手群と比べて高い値を示した。右ストロークの 50%時点から 70%時点にて 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて低い値を示した。

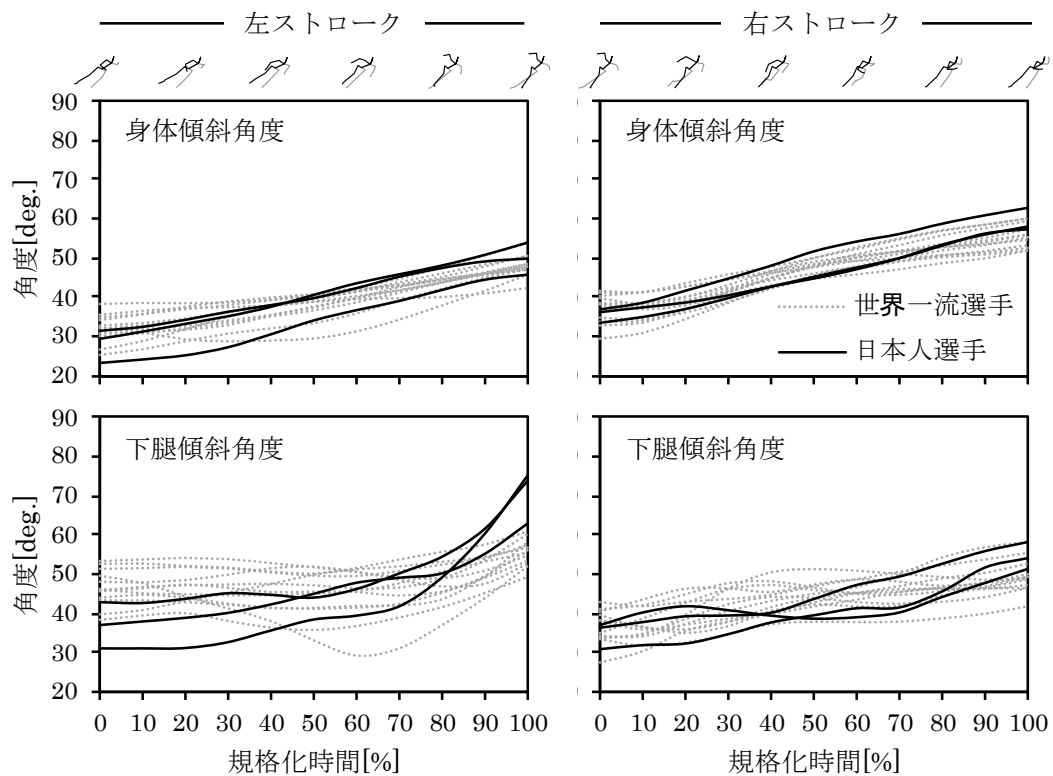


図 5.7 側方傾斜角度

3. セグメント角度に関する結果

図 5.8 に、左右のストロークにおけるセグメント角度を示した。大腿角度に関して、日本人選手群は左ストロークの 0%時点から 30%時点にて 3 名中 2 名が低い値を示す一方で、1 名が高い値を示した。下腿角度に関して、日本人選手群は左ストロークの 40%時点から 70%時点にて 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて高い値を示し、100%時点にて 3 名中 2 名が低い値を示した。右ストロークの 10%時点にて日本人選手群の 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて高い値を示す一方で、1 名が低い値を示し、20%時点から 40%時点、および 70%時点から 90%時点にて日本人選手群の 3 名中 2 名が世界一流選手群と比べて高い値を示した。

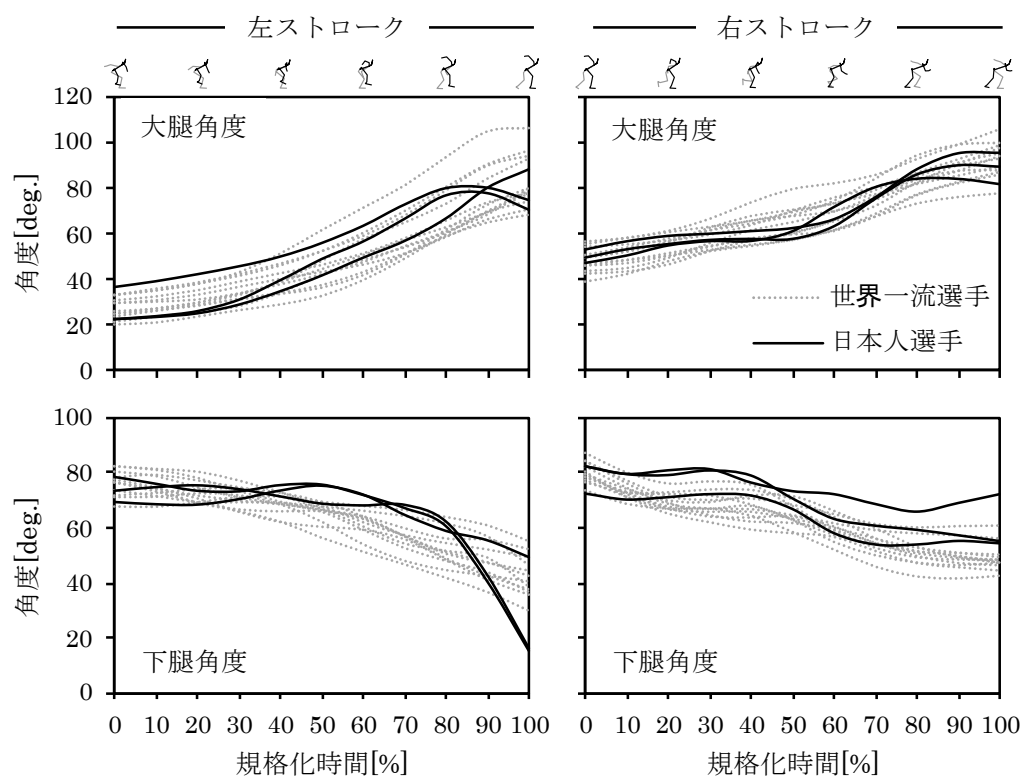


図 5.8 セグメント角度

第4節 考察

1. 滑走軌跡に関する考察

本研究では、左ストロークにおいて、日本人選手群がカーブに対してより外側に移動する傾向を示した(表 5.1). バンクトラックにおけるカーブ外側への移動はバンクの傾斜面を登るようなラインを滑走することになるため、滑走速度が低下すると推察される. 本研究では左ストロークにおける滑走速度は両群とも類似したものの、右ストロークでは日本人選手群が低い滑走速度で滑走する傾向が示された(図 5.5). このことは、日本人選手群は左ストロークにおいて、よりカーブ外側に移動したことで、次の右ストロークにおける滑走速度を低下させたことを示唆するものである.

カーブ滑走では、選手はカーブ外側への移動を抑えるために、身体および下腿部をより内傾させながら滑走する必要がある(湯田ほか, 2003; Yuda et al., 2004). 左右のストロークにおける側方傾斜角度に着目すると、日本人選手群は左ストローク前半に下腿部が比較的内傾しておらず、のちの左ストローク後半に身体および下腿部を内傾させる傾向が示された. また、右ストローク中盤において、身体がより内傾する選手と内傾しない選手に分かれるものの、下腿部が比較的内傾していないことが示された(図 5.7). スピードスケート競技では、遠心力に抗するためにストローク前半から下腿部をより内傾し、求心力成分を増大させることが重要であると報告されている(Yuda et al., 2004). このことは、日本人選手群は、左ストローク前半にて下腿部があまり内傾していないために、左ストロークにおいて、よりカーブ外側を滑走していたことを示唆するものである. 一方、右ストロークにおいて日本人選手群は、右ストローク前半にて世界一流選手群と同程度に下腿部を内傾させていたため、カーブ外側への移動を抑えることができたと考えられる. 以上のことから、日本人選手群のカーブ滑走中の滑走速度を向上させるためには、左ストローク前半にて下腿部をより内傾させることで、カーブに沿うように滑走させる必要があることが示唆された.

またカーブでは、プッシュオフ動作により、身体重心をカーブに沿うように移動させることに加え(van Ingen Schenau et al., 1985, 1987), 高いストローク頻度で滑走する必要があると報告されている(van Ingen Schenau et al., 1987; 結城ほか, 1999; 湯田ほか, 2002). カーブ滑走動作では、身体重心を常にカーブ内側に移動させるようにプッシュオフ動作が実施される. ストローク頻度の高いカーブ滑走動作を実施することは、身体重心をカーブ内側に移動させる頻度が高いことを示すものであるため、身体重心がカーブ外側に移動す

ることを抑えることができると考えられる。本研究におけるストローク頻度に着目すると、日本人選手群は左右のストロークにおいて、低いストローク頻度で滑走する傾向が示された(図 5.5)。ストローク頻度を高めるためには、ストロークに要する時間を短縮する必要がある。日本人選手群は左ストロークでは2名の片足接地時間が長く、両足接地時間は長い傾向を示し、右ストロークでは片足および両足接地時間が長い傾向が示された。このことから、日本人選手群は左右のストロークにて、片足および両足接地時間が長いために、左右それぞれのストローク頻度が低くなる傾向が示された(図 5.6)。

以上のことから、日本人選手群は左右のストロークにおいて、片足および両足接地時間を短くすることで高いストローク頻度を獲得し、カーブ外側への移動を抑える必要があることが示唆された。

2. 身体重心のカーブ内側への移動と側方傾斜角度に関する考察

本研究において、日本人選手群は右ストロークを低い滑走速度で滑走する傾向が示された(図 5.5)。スピードスケート競技における競技成績の優れた選手は、ストローク開始時点において大腿部がより水平な滑走姿勢から(van Ingen Schenau et al., 1983)、ストロークを通じて大腿部をより前方回転させていたことが報告されている(de Boer and Nilsen, 1989; 結城ほか, 1992; Yuda et al., 2002; 湯田ほか, 2003)。本研究では、左ストロークの0%時点から30%時点にて、2名の日本人選手が大腿部をより水平な滑走姿勢で滑走していた(図 5.8)。このことから、左ストロークにおいて日本人選手は、大腿部をより水平位から世界一流選手群より大きく大腿部を前方回転させる傾向を示唆するものである。しかし、滑走速度は世界一流選手と類似する傾向が示された(図 5.5)。高い滑走速度で滑走することに関して、スピードスケート競技短距離朱蒙では、大腿部をより前方回転させることに加え、下腿部をより前傾させる必要があることが報告されている(結城ほか, 1991; Yuda et al., 2002)。本研究では、左右のストロークにおいて日本人選手群は、下腿部を後傾させてから前傾させていたのに対し、世界一流選手群はストロークを通じて下腿部を前傾させる傾向を示した(図 5.8)。また、日本人選手群は左ストローク中盤にて下腿部の前傾位が小さく、終了時点で下腿部をより前傾させる傾向が示された(図 5.8)。一方、右ストロークでは、10%時点において日本人選手3名中2名の下腿部前傾位が小さく、ストローク序盤と終盤において下腿部の前傾位が小さい傾向が示された(図 5.8)。下腿部を後傾させることにより、身体重心は後方へ移動すると推察される。とくに、左ストローク序盤および右ストローク前半では、日

本人選手の下腿部は前傾位が小さい傾向を示していることから、日本人選手は左右のストロークにおいて身体重心の前方移動を抑制するような動作を実施していると考えられる。身体重心の前方移動が抑制されれば、獲得される滑走速度は低くなる。また、日本人選手群の選手は左右のストロークにおいてカーブ外側に移動しており、バンクの傾斜面を登るように滑走することで滑走速度は低下すると考えられる。これらのことから、日本人選手群は下腿部を後傾させたために、身体重心の前方移動が抑制されたことに加え、カーブに対してより外側に移動したことで滑走速度が低下したことが示唆された。

また、本研究では左右のストロークにおいて、日本人選手群の両足接地時間が長い傾向が示された(図 5.6)。そこで両足接地時間が長くなる要因を検討するために、図 5.9 に左右のストロークの両足接地期開始時点と終了時点の支持脚のプッシュオフ動作の平均モデルをそれぞれ示した。左右のストロークの両足接地期開始時点にて、日本人選手群は大腿部の前方回転および下腿部の前傾位が小さく、支持脚の前傾位が小さい傾向を示した。また、左ストロークにおいて日本人選手群は支持脚の屈曲が大きく、蹴り上げるようなプッシュオフ動作を実施する傾向を示した。これに対し、右ストロークにて日本人選手群は、支持脚の伸展が大きいプッシュオフ動作を実施する傾向を示した。これらのことは、左右のストロークにおいて日本人選手群は、支持脚の前傾位が小さい状態で遊脚を接地したために、両足接地期において動作範囲の大きなプッシュオフ動作を実施していたことを示唆するものである。とくに右ストロークでは、レッグオーバー動作が実施されるが(de Boer et al., 1987), 支持脚の前傾位が小さい場合、窮屈な滑走姿勢でレッグオーバー動作を実施することとなり、支持脚を伸展させることが困難になると推察される。そのため、右ストロークにて日本人選手群は、両足接地期を通じて、足部を後方に巻き上げるような動作を実施していたと考えられる。これらのことから、左右のストロークにおいて日本人選手群が両足接地時間を短縮させるためには、両足接地期開始時点までに大腿部をより前方回転させることに加え、下腿部をより前傾させる必要があることが示唆された。

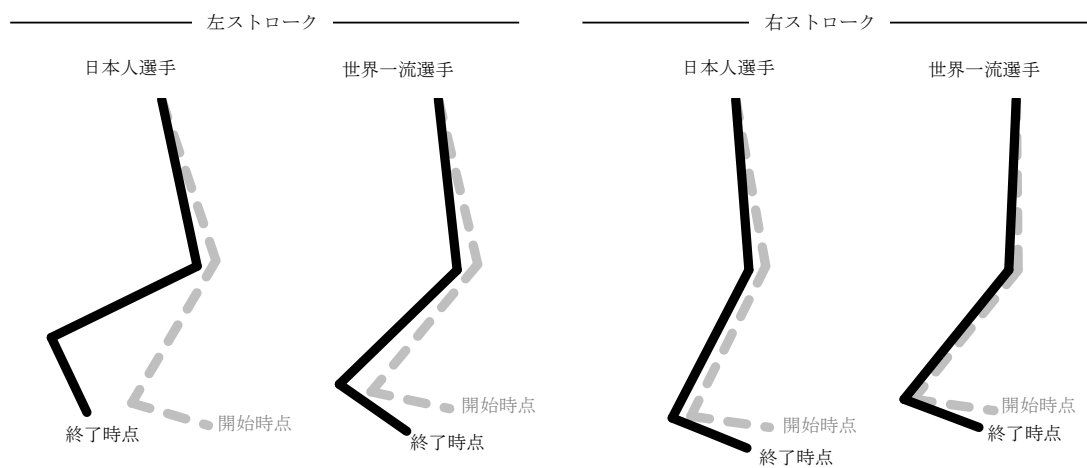


図 5.9 両足接地期におけるプッシュオフ動作の平均モデル

† 図中の灰色点線は両足接地期開始時点，黒色実線は両足接地期終了時点の支持脚を示す．なお，原点は支持脚側の大転子とした．

第5節 結論

本研究の目的は、日本人選手と世界一流選手のカーブ滑走動作を比較し、日本人選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を明らかにすることであった。その結果、日本人選手のカーブ滑走動作の問題点として、以下のことが明らかとなった。

- 1) 日本人選手は、左右のストロークにおいて片足および両足接地時間が長く、低いストローク頻度で滑走することで、身体重心をカーブに沿った滑走ができず、傾斜面を登るように滑走したため、滑走速度の低下度合いが大きかった。
- 2) 日本人選手は、左ストローク前半において、下腿部の内傾位が小さかったため、カーブ外側に移動するような軌跡で滑走した。
- 3) 日本人選手は、左右のストロークにおける両足接地期開始時点において、支持脚の前傾位が小さい状態で遊脚足部を接地したことで、両足接地期にてプッシュオフ動作の動作範囲が大きくなり、両足接地時間が長くなった。
- 4) 日本人選手は、左右のストロークにおいて、下腿部を後傾させてから前傾させることで、身体重心の前方移動を抑制していたため、滑走速度が小さくなった。

以上のことから、日本人選手が、国際水準で競技成績を向上させるための課題点として、左右のストロークにおいて、片足および両足接地時間を短縮し高いストローク頻度で滑走することに加えて、ストロークを通じて下腿部を前傾させる必要があることが示唆された。ストローク頻度を高めるためには、ストロークを通じて下腿部をより前傾させてから、遊脚を接地させる必要があることが示唆された。また、左ストローク前半において下腿部の内傾位を大きくすることで、身体重心をカーブに沿って移動させ、滑走速度の低下度合いを抑える必要があることが示唆された。

第 6 章 総括論議

本学位論文では、ローラースピードスケート競技 300m タイムトライアル種目を対象に、同競技における滑走技術をバイオメカニクス的手法によって明らかにすることを目的とした。競技スポーツでは各競技にて要求される運動技術を把握したうえで、身体能力の向上を目的としたトレーニングを構築することが重要といえる(第 1 章第 2 節)。そのため、バイオメカニクス的手法により得られた知見を指導現場に提示することは、競技成績を向上させるためのトレーニングを検討するために重要といえる。そこで、総括論議では各章にて得られた知見を基に、指導現場で指導すべき内容やトレーニング方法を検討する。

ローラースピードスケート競技では、スタート直後から約 150m 地点および約 250m からフィニッシュラインを通過するまでに高い滑走速度を獲得する必要があることが示された(第 2 章)。とくに、約 110-150m のカーブ区間における滑走様態が、滑走時間を短縮するうえで重要となることが明らかとなった。この区間ではカーブ滑走動作と、滑走距離の増大を抑制するためのキャリングが実施される。しかし、キャリングの実施時間は競技成績にかかわらず類似するが、滑走速度が低い場合には滑走時間が長くなることが示された。このことから、約 110-150m のカーブ区間では滑走速度に応じてキャリングの実施時間を変更しながら滑走させる必要があると考えられる。

また、約 110-150m におけるカーブ滑走動作に着目すると、世界一流選手は高いストローク頻度で滑走していることが明らかとなった(第 4 章, 第 5 章)。世界一流選手と滑走時間が 25.80 ± 0.54 秒程度の選手のカーブ滑走動作の動態は類似するが(第 4 章)、滑走時間が 25.80 ± 0.54 秒までの選手とそれよりも滑走時間が長い日本人選手のカーブ滑走動作の動態は異なる傾向にあることが示された(第 5 章)。これらのことから、300m タイムトライアル種目では、競技成績の低い選手ほどカーブ滑走動作を修正すること、競技成績の高い選手ほど高いストローク頻度を獲得することが課題となるといえる。そのため、300m タイムトライアル種目の競技成績を向上させるためには、はじめに優れたカーブ滑走動作を習得あるいは修正させるための技術トレーニングを実施する必要があると考えられる。

運動技術を習得あるいは修正させる際には、理想となる運動技術と実際に行われた動作の「ずれ」を把握する必要がある(グロッサー・ノイマイヤー, 1995)。この点に関して、日本人選手が世界一流選手と異なり、低いストローク頻度で滑走していること(第 3 章, 第 5 章)、下腿部の前傾位が小さいこと(第 5 章)を踏まえると、滑走技術が適切に把握されないまま指

導あるいは技術トレーニングが実施されている可能性があるといえる。運動技術を習得するためには、その運動技術に関する正しい運動表象を認識する必要がある(グロッサー・ノイマイヤー, 1995)。そのため、技術指導あるいは技術トレーニングでは運動技術の明確化が重要といえる。運動技術を明らかにするための運動分析の方法には自然科学的手法を用いて運動を分析するバイオメカニクス的手法と印象分析によるモルフォロギー的考察に分類される(土屋, 2007)。しかし、印象分析による運動技術のモルフォロギー的考察では、運動経過に関する優れた観察能力や運動共感能力によって運動質(マイネル, 1981)を把握する必要があるものの、現状として単なる運動経過の主観的な記述に留まっているため印象分析が適切に行われていないとされる(佐野, 1985)。本学位論文において、日本人選手のカーブ滑走動作が世界一流選手と異なることが明らかとなったが、この要因として不適切な印象分析によって誤った運動情報が抽出されていると推察される。誤った運動情報は、競技成績の向上を妨げる可能性がある。そのため、運動技術が解明されていない競技では、本学位論文のようにバイオメカニクス的手法を用いて運動技術を解明することが有効といえよう。

また、本学位論文で明らかとなった日本人選手のカーブ滑走動作の課題点は、図 6.1 のようになる(第 3 章, 第 5 章)。図 6.1 に示したように、日本人選手には下腿部の動態に重点を置いた指導を実施し、カーブ滑走動作を習得あるいは修正させる必要があるといえる。下腿部の動態を修正するためには陸上において、牽引具を用いたカーブ滑走模倣動作を行わ

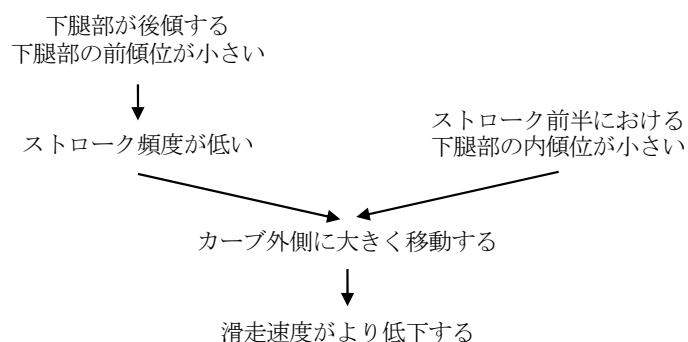


図 6.1 日本人選手のカーブ滑走動作に関する課題点



図 6.2 牽引具を用いたカーブ滑走模倣動作

せるトレーニングが有効とされる(図 6.2; 湯田ほか, 2009). さらに, カーブ滑走模倣動作では下腿部の前傾および内傾位を大きくさせることが, ストローク所要時間の短縮に資することが報告されている(結城, 2007). これらのトレーニング効果は, 日本人選手のカーブ滑走動作に関する課題点を克服するために有効であると考えられる. そのため, 日本人選手にはカーブ滑走模倣動作に取り組ませることで, カーブ滑走動作の習得あるいは修正と, 高いストローク頻度を獲得させる必要があるといえる. 具体的には, 下肢の各関節を深く屈曲させた低い滑走姿勢でカーブ滑走模倣動作を実施させることや, 接地している足が横滑りする直前まで下腿部を内傾させるといった指導内容が考えられる. また, 高いストローク頻度の獲得に関しては, 牽引力を増大させた状態で素早くカーブ滑走模倣動作を実施させるといったトレーニング方法が考えられる.

また, 選手が運動技術を習得するまでには, 5つの運動感覚の形成位相を経過するとされる(図 6.3; 金子, 2005). このことは, 運動技術の習得あるいは修正を判断する際には, 選手の運動感覚を考慮する必要があることを示唆するものである. 技術トレーニングでは, 実際に行われた運動と運動感

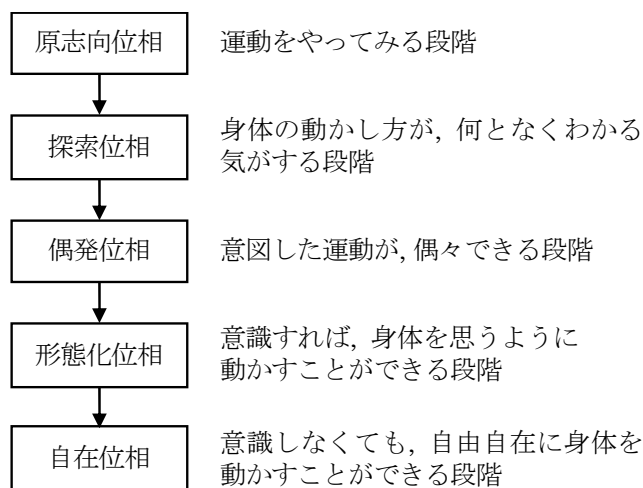


図 6.3 運動感覚の形成位相

覚の間に「ずれ」が生じることとなる. この「ずれ」を解消するためには, 自己観察と他者観察による運動の評価能力を向上させる必要があるとされる(マイネル, 1981; グロッサー・ノイマイヤー, 1995; 朝岡, 2019). 自己観察能力を向上させるためには, 運動実施時の運動感覚を選手に言語化させたり, 運動感覚を把握させやすくするために運動をゆっくり実施させたりする必要がある(グロッサー・ノイマイヤー, 1995). 例えば, カーブ滑走模倣動作において下腿部の内傾位を大きくできた試技とできなかった試技の運動感覚を説明させ, 下腿部の内傾位を大きくできた試技と同様の運動感覚でカーブ滑走模倣動作を反復させるといった指導が考えられる. また, 他者観察では運動質を配慮した運動のモルフォロジー

的考察が行われるが、理想となる運動技術あるいは自己観察により得られた運動情報と比較し、「何が」「どのように」異なっているのかを明らかにする必要がある。このとき、選手が自身の運動経過を明瞭に把握できていないことも想定できるため、指導者は選手がどのように自身の運動を評価しているのかを確認する必要があると考えられる。

本学位論文では、ローラースピードスケート競技における世界一流選手および日本人選手のカーブ滑走動作に着目し、そのキネマティクスの特徴と競技成績の向上を図るうえで考慮すべき点を考察した。効果的な技術トレーニングの構築に至らなかったことが本研究の限界であるが、運動技術に基づく技術トレーニングに関する事例研究が大いになされることを期待したい。

第7章 結論

本学位論文の目的は、ローラースピードスケート競技において優れた滑走動作の技術的要因をバイオメカニクス的手法によって明らかにすることを目的とした。具体的な研究結果は以下の通りである。

1. 300m タイムトライアル種目における世界一流選手のレース特徴を分析した結果、スタート直後から 110m 地点を通過するまでに高い滑走速度を獲得した後、スタートから約 110-150m のカーブ区間においてキャリングを実施することで高い滑走速度を維持していることが明らかとなった。また、世界一流選手は約 110-150m のカーブ区間を高い速度で滑走することで、滑走時間を短縮していることが明らかとなった。
2. フラットトラックにおける日本人選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を分析した結果、左右のストロークにおいて体幹部と大腿部をより水平に保った低い滑走姿勢で滑走していることが明らかとなった。また、左ストロークでは下腿部の過度な前傾を抑えた上で大腿部をより前方回転させ、右ストロークでは身体と下腿部をより内傾させるようにプッシュオフ動作を実施していることが明らかとなった。
3. バンクトラックにおける世界一流選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を分析した結果、下腿部の内傾位を大きな姿勢で滑走することで、身体重心をカーブ内側に移動する頻度を高めていることが明らかとなった。また、カーブ内側への移動頻度を高めることで、滑走速度の低下を抑えていることが明らかとなった。
4. バンクトラックにおける日本人選手のカーブ滑走動作のキネマティクスの特徴を分析した結果、左ストローク前半における下腿部の内傾位が小さいことに加え、左右のストロークを低いストローク頻度で滑走しているため、カーブ外側への移動が大きくなり滑走速度がより低下することが明らかとなった。また、左右のストロークにおいて、下腿部を後傾させてから前傾することで身体重心の前方移動を抑制していたため、滑走速度がより低下することが明らかとなった。

本学位論文ではローラースピードスケート競技におけるカーブ滑走動作のバイオメカニクス的研究を踏まえ、指導現場にて指導すべき内容と技術トレーニング、競技人口の少ない競技におけるバイオメカニクスの分析の意義を考察した。日本では指導者や選手の主観に基づき運動技術に関する指導やトレーニングが実施されていると考えられるが、それらは世界一流選手のカーブ滑走動作とは異なっていることが明らかとなった。したがって、

主観的に運動技術を分析するのではなく、バイオメカニクス的手法を用いて運動技術を解明し、指導やトレーニングを行う必要があると考えられる。

文献

Adams, R. P., and Welch, H. G. (1980) Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fractions. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 49: 863–868.

朝岡正雄(2019) 指導者のためのスポーツ運動学. 大修館書店.

de Boer, R. W., Cabri, J., Vaes, W., Clarijs, J. P., Hollander, A. P., de Groot, G., and van Ingen Schenau, G. J. (1987a) Moments of force, power, and muscle coordination in speed-skating. *Int. J. Sports Med.*, 8: 371–378.

de Boer, R. W., Ettema, G. J. C., Fassen, B. G. M., Krekels, H., Hollander, A. P., de Groot, G., and van Ingen Schenau, G. J. (1987b) Specific characteristics of speed skating: implications for summer training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19: 504–510.

de Boer, R. W., Ettema, G. J. C., van Gorkum, H., de Groot, G., and van Ingen Schenau, G. J. (1987c) Biomechanical aspects of push-off techniques in speed skating the curves. *Int. J. Sport Biomech.*, 3: 69–79.

Fokichev, S. R., Inkin, V. A., and Plakhtienko, V. A. (1990) A study of speed potentials of speed skaters(sprinter) for the purpose of increasing their competitive reliability. *Soviet Sports Review*, 25: 176–178.

伊藤静夫・結城匡啓・青柳徹・湯田淳・前川剛輝(2009) 血中乳酸からみた動作の繰り返し-スピードスケート・サポート活動から-. *バイオメカニクス研究*, 12: 13–19.

K. マイネル: 金子明友訳 (1981) スポーツ運動学. 大修館書店.

金子明友(2005) 身体知の形成(上). 明和出版.

金久博昭・福永哲夫・池川繁樹・石川良恵(1986) バレーボールおよびスピード・スケート選手の筋断面積における性差. *Jpn. J. Sports Sci.*, 5: 662-668.

熊川大介・角田直也(2008) 相対発育からみたスピードスケート選手の滑走能力と大腿部の筋厚及び無酸素性パワーの発達. *体力科学*, 57: 119-130.

熊川大介・角田直也(2009) スピードスケート短距離・長距離選手における大腿部筋厚の発達. *国士舘大学体育研究所報*, 28: 107-112.

M.グロッサー・A・ノイマイヤー: 朝岡正雄ほか訳(1995) 選手とコーチのためのスポーツ技術のトレーニング. 大修館書店.

根本勇(1983) 速く滑る-スピード・スケート-. *Jpn. J. Sports Sci.*, 2: 921-934.

根本勇・金久博昭・福永哲夫・角田直也・下敷領光一・吉岡伸彦・宮下充正(1988) 最大有酸素性パワーと等速性筋出力の持続能力との関係. *体力科学*, 37: 77-84.

根本勇(1990) スピードスケート-世界で勝つための目標体力水準-. トレーニング科学研究会編, 競技力向上のスポーツ科学Ⅱ. 朝倉書店, pp. 41-62.

根本勇・黒田善雄・柳沢香絵・土谷一晃・熊川輝男・入沢孝一(1995) スピードスケート競技力向上のトレーニング. *Jpn. J. Sports Sci.*, 14: 291-308.

佐野淳(1985) スポーツ技術の抽出に関する問題性. *鹿児島大学教育学部研究紀要 人文・社会科学編*, 37: 115-129.

佐野淳(2003) コツと技術の関係に関する運動学的考察. *スポーツ運動学研究*, 16: 1-11.

土屋純(2007) 体操競技の技術トレーニングにおける運動分析の意義と方法. *スポーツ科学研究*, 4: 18-27.

角田直也・金久博昭・福永哲夫・近藤正勝・池川繁樹(1986) 大腿四頭筋断面積における各種競技選手の特性. 体力科学, 35: 192-199.

van Ingen Schenau, G. J., and Bakker, K. (1980) A biomechanical model of speed skating. *Journal of Human Movement Studies*, 6: 1-18.

van Ingen Schenau, G. J. (1982) The influence of air friction in speed skating. *J. Biomech.*, 15: 449-458.

van Ingen Schenau, G. J., de Groot, and Hollander, A. P. (1983) Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 50: 343-354.

van Ingen Schenau, G. J., de Groot, G., and de Boer, R. W. (1985) The control of speed in elite female speed skaters. *J. Biomech.*, 18: 91-96.

van Ingen Schenau, G. J., de Boer, R. W., and de Groot, G. (1987) On the technique of speed skating., *Int. J. Sport Biomechan.*, 3: 419-431.

WORLD SKATE (2018) INLINE SPEED SKATING RULEBOOK 2019. <http://www.worldskate.org/speed/about/regulations.html>, (参照日 2019 年 10 月 20 日).

横澤俊治・加藤恭章・紅楳英信・熊川大介(2018) スピードスケート国際競技会の中長距離レースにおける滑走軌跡と速度の分析. *Sports Science in Elite Athlete Support*, 3: 27-38.

湯田淳・結城匡啓・伊藤静夫・河合季信・高松薫・阿江通良(2001) スピードスケート 1000m 競技における滑走スピードおよびサイクル頻度の変化と血中乳酸濃度からみた合理的ペース. *トレーニング科学*, 13: 93-102.

Yuda, J., and Ae, M. (2002) A comparison of the skating technique in the curve for elite and junior sprint speed skaters. International Symposium on Biomechanics Sports: 96-99.

湯田淳・青柳徹・高松潤二・阿江通良(2002a) ソルトレイクシティ〜オリンピックにおけるスピードスケート男子 500m 競技のレース分析. 第 17 回バイオメカニクス学会大会論集: 188-189.

湯田淳・結城匡啓・藤井範久・阿江通良(2002b) スピードスケート 5000m 競技における世界一流選手のレースペース分析. バイオメカニクス研究, 6: 116-124.

湯田淳・結城匡啓・阿江通良(2003) 日本ジュニア長距離スピードスケート選手のカーブ滑走動作に関するバイオメカニクスの研究-世界一流選手との比較から-. スポーツ方法学研究, 16: 1-11.

Yuda, J., Yuki, M., Aoyanagi, T., Fujii, N., and Ae, M. (2004) Changes in blade reaction forces during the curve phase due to fatigue in long distance speed skating. Int. J. Sport Health Sci., 2: 195-204.

湯田淳・結城匡啓・青柳徹・藤井範久・阿江通良(2005) スピードスケート長距離種目におけるカーブ滑走中の下肢キネティクスの変化. バイオメカニクス研究, 9: 53-68.

湯田淳・青柳徹・高松潤二(2006a) スピードスケート女子 500m 競技における世界一流短距離選手のレースパターン. トレーニング科学, 18: 387-395.

湯田淳・結城匡啓・藤井範久・阿江通良(2006b) 一流男子長距離スピードスケート選手のカーブ滑走における遊脚のキネティクス. バイオメカニクス研究, 10: 92-106.

Yuda, J., Yuki, M., Aoyanagi, T., Fujii, N., and Ae, M. (2007) Kinematic analysis of the technique for elite male long-distance speed skaters in curving. J. Appl. Biomech., 23:

128-138.

湯田淳・青柳徹・高松潤二・山辺芳・鈴木恵一(2009) スピードスケートにおける滑走姿勢の相違が空気抵抗に及ぼす影響. 日本女子体育大学紀要, 39: 9-15.

湯田淳・柳澤修・村田正洋・横澤俊治・山辺芳・青柳徹(2011) スピードスケート短距離ジュニアおよびシニア選手における筋の形態的特徴と陸上模倣動作における関節トルク発揮能力との関係. 体育学研究, 56: 115-127.

結城匡啓・阿江通良・浅見高明(1992) スピードスケートにおける加速理論の再検討. バイオメカニズム, (11): 111-121.

結城匡啓・阿江通良・藤井範久(1996) スピードスケート滑走中のブレード反力. バイオメカニズム, 13: 41-51.

結城匡啓・阿江通良・藤井範久(1997) スピードスケートの直線ストロークにおける加速の力学的メカニズム. 身体運動のバイオメカニクス: 211-217.

結城匡啓・河合季信・伊藤静夫・阿江通良(1998) 97/98 ワールドカップ前半戦 500m のレース分析およびスラップスケート対策-長野オリンピックに向けた科学的知見のフィードバック-. 平成 9 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究-第 21 報-: 335-361.

結城匡啓・平野敬靖・森丘保典・阿江通良(1999) スピードスケート 1000m 競技における世界一流選手のレースパターンの分析. バイオメカニクス研究, 3: 270-276.

結城匡啓(1999) スピードスケートの動作解析. 運動と制御, 38: 236-241.

結城匡啓(2007) スピードスケートにおけるケーブル牽引ドリルがカーブ滑走動作に及ぼすトレーニング効果. 日本体育学会大会予稿集: 288.

結城匡啓(2013) スピードスケートのバイオメカニクス. 体育の科学, 63: 139-147.

謝辞

本学位論文は、早稲田大学スポーツ科学学術院の土屋純教授のご指導のもと完成するに至りました。ローラースピードスケート競技の選手や指導者、スピードスケート競技の医学スタッフとして遠征することが多かった私の活動を認めてくださり、最後までご指導いただき深く感謝申し上げます。また、博士後期課程からバイオメカニクス研究に取り組んだ私にとって、6年間の指導により習得した知識や技能が、今後の研究活動の基盤となることは疑いようありません。今後もコーチング科学のあり方を追究していきたいと思います。今後とも、ご指導いただけますと幸いです。

副査を快く引き受けてくださった彼末一之教授、菅田雅彰教授に深く感謝申し上げます。彼末一之教授には、指導現場に対してどのように研究成果を還元していくべきなのかご指導いただきました。菅田雅彰教授にはローラースピードスケート競技における運動技術を明確にしていく際の着眼点に関して、ご指導いただきました。ご指導いただいたことを踏まえ、ローラースピードスケート競技発展のための研究に精進致します。

藤田善也准教授には、データ処理から分析、論文執筆あらゆる面でご指導いただきました。また、滑走運動を専門とする藤田善也准教授からのご指導は、本学位論文を執筆するうえで大変有意義なものとなりました。

また、修士課程での指導教員である日本大学の水島宏一教授には、私が博士後期課程に進学する際にアドバイスをいただきました。水島宏一教授のアドバイスがなければ、最高の環境で博士論文を執筆できていませんでした。

苦楽を共にした研究室の皆様には大変感謝しております。とくに、2016 World Roller Speed Skating Championships における映像収集に同行していただいた皆様のご助力がなければ、博士論文を完成させることはできませんでした。

最後に、31歳を迎えるまで学生を続けた私を温かく見守ってくれた家族に感謝します。

2020年1月 岡部文武